

BA - RP 191

FT 970328

Ministère des Départements et Territoires d'Outre-Mer

**ETUDE DES PROPRIÉTÉS DES PINS
DE PLANTATION DU TERRITOIRE
DE WALLIS ET FUTUNA**

Août 1997



CIRAD - Forêt
DOCUMENTATION
Le 17.10.97
Micro N° Sauré

Ce document a été rédigé par Yves EHRHART et Jean GÉRARD (CIRAD-Forêt)

Service de l'Economie Rurale
et de la Pêche
de Wallis et Futuna

CIRAD-Forêt
Montpellier / Nouvelle Calédonie



* R P 0 8 6 1 7 *

SOMMAIRE

1 - CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS GÉNÉRAUX	3
2 - TERMES DE RÉFÉRENCES	4
3 - ETABLISSEMENT D'UN TARIF DE CUBAGE POUR LES PLANTATIONS DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i> ÂGÉES DE 20 ANS	6
31 - Choix de l'échantillon	6
32 - Mesures sur les arbres de l'emprise	6
33 - Elaboration du tarif de cubage	8
331 - Méthode d'élaboration	
332 - Caractéristiques dendrométriques de l'échantillon	
333 - Résultats et commentaires	
333.1 - Etablissement des équations non pondérées	
A - Formules des tarifs de cubage exprimant un volume sur écorce	
B - Formules des tarifs de cubage exprimant un volume sous écorce	
333.2 - Etablissement des équations pondérées	
A - Formules des tarifs de cubage sur écorce	
B - Formules des tarifs de cubage sous écorce	
4 - ETABLISSEMENT DES COEFFICIENTS DE CONVERSION ENTRE LE VOLUME SUR PIED ET LES VOLUMES BÛCHERONS	12
41 - Résultats des mesures du volume bûcheron	12
411 - Comparaison des deux méthodes de mesure	
412 - Evolution de la répartition par type de produit selon les classes	
42 - Elaboration d'un tarif de cubage du volume bûcheron effectivement sciable à partir du diamètre des arbres sur pied	13
5 - DESCRIPTION DES ARBRES SÉLECTIONNÉS POUR L'ÉTUDE TECHNOLOGIQUE	15
6 - SÉLECTION DES AVIVÉS DU COMMERCE	15
7 - SCIAGE ET CLASSEMENT DES AVIVÉS	16

8 - CARACTÉRISATION TECHNOLOGIQUE DES BOIS ET COMPARAISON AVEC DES PINS IMPORTES	17
81 - Rappel des objectifs de la caractérisation technologique des bois	17
82 - Matériel végétal utilisé	17
83 - Caractéristiques étudiées	18
831 - Densité	
833 - Dureté Monnin	
834 - Retraits linéaires transverses de séchage	
835 - Sensibilité aux variations d'humidité	
836 - Module d'élasticité longitudinal	
837 - Résistance aux champignons	
838 - Résistance aux termites	
84 - Synthèse des résultats	21
841 - <i>Pinus caribaea</i>	21
841.1 Propriétés physiques et mécaniques	
A - Résultats par arbre	
B - Résultats synthétiques	
C - Interprétation des résultats ; variations des propriétés	
841.2 Préservation	
A - Résistance aux champignons et aux termites	
a - Résultats bruts	
b - Interprétation	
B - Imprégnabilité	
C - Conclusions sur les essais de préservation	
842 - <i>Pinus radiata</i>	27
842.1 - Résultats par avivé	
842.2 - Résultats synthétiques	
842.3 - Interprétation des résultats ; variations des propriétés	
843 - Comparaison des caractéristiques technologiques du bois de <i>Pinus caribaea</i> wallisien et de <i>Pinus radiata</i> importé de Nouvelle-Zélande	29

CONCLUSIONS GÉNÉRALES, SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS	31
---	-----------

<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	35
-----------------------------	-----------

ANNEXES

**Cette étude a été réalisée grâce au soutien financier
du Ministère français des Départements et Territoires d'Outre-Mer**

1 - CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS GÉNÉRAUX

A Wallis et Futuna, les premières plantations de pins ont été mises en place en 1974. Dans la seule île de Wallis, on estime actuellement que la production de grumes est comprise entre 2000 et 2500 m³/an. Cette production permet d'envisager le débit et commercialisation d'environ 900 m³ de sciage par an, au prix de 60 000 francs CFP/m³ (chiffre actuellement retenu par le Service de l'Economie Rurale et de la Pêche dans leur étude économique sur la filière bois). Cette valeur permettrait d'envisager favorablement une concurrence avec les bois importés vendus actuellement entre 80 000 et 90 000 francs CFP/m³. Cela représenterait un revenu prévisionnel de 54 000 000 francs CFP et la création d'au minimum 6 emplois.

Avant d'envisager la valorisation en bois d'oeuvre des pins de Wallis et Futuna, il a paru indispensable de faire le point sur leurs possibilités de transformation et de comparer les propriétés des pins indigènes avec celles des pins importés.

Pour cela, une opération pilote sur 20 à 30 m³ de grumes a été prévue afin de :

- connaître le rendement au sciage,
- définir des caractéristiques technologiques des bois par rapport à celles des bois importés (propriétés physiques et mécaniques, comportement au séchage, importance des défauts du bois ...),
- élaborer un document de vulgarisation permettant de mieux faire connaître les propriétés et les possibilités de valorisation des pins de plantation.

L'étude a été confiée au CIRAD-Forêt qui dispose de nombreuses références dans le domaine de l'étude de la qualité et de la valorisation en bois d'oeuvre des bois de plantation dans d'autres régions de plantation.

Ce travail a été mené en collaboration avec :

- les Services de l'Economie Rurale de Wallis et Futuna,
- les ingénieurs du CIRAD-Forêt de Nouvelle Calédonie et de Montpellier spécialisés dans l'utilisation et la promotion des bois tropicaux.

Pour mener à bien le projet, les moyens suivants ont été utilisés :

- équipements nécessaires à l'exploitation et au sciage des pins - Wallis et Futuna, Service de l'Economie Rurale,
- laboratoires d'essais pour l'étude de la qualité des bois - Montpellier,
- structure de coordination - Nouvelle Calédonie.

Les objectifs généraux du projet sont les suivants :

- étudier les caractéristiques technologiques du bois de *Pinus caribaea* de Wallis et Futuna,
- contribuer à promouvoir l'utilisation locale de cette essence, utilisation qui se heurte actuellement à une méfiance marquée de la part des utilisateurs ce qui favorise l'importation de Pins de Nouvelle-Zélande alors que les bois locaux sont apparemment de meilleure qualité que ces bois importés.

Cette étude technique doit faire le point sur les possibilités d'utilisation de *Pinus caribaea* issus des plantations locales.

Si ces travaux confirment l'avis des responsables du Service de l'Economie Rurale, avis déjà étayé par les résultats d'essais antérieurs effectués dans d'autres régions productrices de la zone Pacifique (Fidji, Nouvelle-Calédonie, Tahiti), il sera alors possible :

- d'envisager un développement artisanal de la filière-bois dans les îles de Wallis et Futuna (création de 6 à 8 emplois),
- de développer les programmes de sylviculture (extension des plantations, respect des campagnes d'éclaircies),
- de réduire les volumes importés,
- de constituer une ressource importante de bois d'oeuvre,
- de **pérenniser les plantations actuelles**, aujourd'hui menacées d'appropriation par les agriculteurs car considérées comme non productrices d'emplois et de ressources.

2 - TERMES DE RÉFÉRENCES

L'objectif finalisé du projet est de fournir des informations pertinentes sur les possibilités et les conditions de valorisation des pins de plantation de Wallis et Futuna, et de promouvoir la commercialisation de ces bois en fournissant comparativement des données technologiques sur les pins importés et les pins locaux.

La programmation des tâches est la suivante :

- 1 - Sélection d'une parcelle représentative de la qualité moyenne de l'ensemble des plantations.
- 2 - Exploitation de 20 à 30 m³ de grumes. Durant cette phase, les données techniques nécessaires à la qualification des grumes (dimensions, formes, défauts ...) sont recueillies.
- 3 - Sciage des bois : à l'aide de l'unité mobile de sciage dont dispose le Service de l'Economie Rurale (scie CTFT-ERVE). Ce sciage doit permettre d'obtenir des bois avivés aux dimensions similaires à celles des bois importés.
- 4 - Classement des bois débités ; les bois obtenus après sciage sont divisés en trois lots :
 - le premier lot correspond aux avivés de *Pinus caribaea* dont les défauts (noeuds, fentes, déformations ...) sont qualitativement et quantitativement comparables à ceux des bois importés.
 - le deuxième lot correspond aux avivés de *Pinus caribaea* de qualité supérieure à celle des bois importés.
 - le troisième lot correspond aux avivés présentant d'importants défauts et dont la commercialisation risquerait d'être aléatoire.

5 - Caractérisation des pins wallisiens et comparaison avec les bois importés

51- Localement et avec l'appui des laboratoires de Montpellier, séchage naturel des avivés afin de connaître la vitesse du séchage et les risques éventuels de fentes et de déformations.

52 - A Montpellier sont envoyés :

- . 6 plateaux de coeur de 5 cm d'épaisseur provenant des pins de plantation,
- . 6 avivés d'environ 100 x 15 x 5 cm de pin importé.

Ces échantillons doivent permettre d'étudier et de comparer les propriétés de ces deux provenances (densité, dureté, retrait, stabilité, durabilité naturelle) et de fournir un avis comparatif sur leurs propriétés technologiques.

6 - Elaboration du rapport final

7 - Rédaction d'une fiche promotionnelle

Les points 1, 2, 3, 4 sont réalisés sous le contrôle du Service de l'Economie Rurale ainsi que la phase 5.1. La phase 5.2 est confiée au CIRAD-Forêt. Enfin le point 6 (rapport final) est sous la responsabilité du CIRAD de Nouvelle-Calédonie en collaboration avec le Service de l'Economie Rurale et les ingénieurs de Montpellier.

3 - ETABLISSEMENT D'UN TARIF DE CUBAGE POUR LES PLANTATIONS DE *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* ÂGÉES DE 20 ANS

31 - CHOIX DE L'ÉCHANTILLON

Le Service de l'Economie Rurale et de la Pêche (S.E.R.P.) avait choisi une parcelle de 1975 sur des critères de représentativité moyenne des plantations et y avait marqué une éclaircie systématique. Peu avant le début de la mission, le S.E.R.P. a été obligé de marquer une coupe d'emprise pour une ligne électrique le long de la route. Il lui a semblé judicieux, pour limiter les réticences des autorités coutumières, de réaliser la coupe dans cette emprise qui correspondait à l'élargissement d'une première emprise réalisée 3 mois auparavant ; l'effet de lisière n'a pas joué sur les arbres.

Nous avons choisi cette solution sachant que :

- l'impact de l'opération auprès des coutumiers devait être limité ;
- une coupe systématique sur 20 m de large est bien plus aisée à réaliser qu'une éclaircie systématique 1 ligne sur 3 (brièveté de la mission à prendre en compte) ;
- le critère d'échantillon représentatif du peuplement est respecté par une coupe systématique et par le fait que l'emprise n'était pas en lisière du peuplement lors de la coupe d'une première emprise de quatre lignes de large à partir de la lisière du peuplement ;
- les caractères du peuplement exploité sont légèrement différents de ceux de la première parcelle choisie en raison d'une fertilité un peu inférieure (2 à 3 m de moins sur la hauteur dominante) et d'un âge inférieur. Mais cette parcelle nous semble plus proche de la moyenne que celle initialement sélectionnée qui était parmi les plus fertiles de la plantation. De toute façon la variation est assez peu marquée entre les parcelles.

32 - MESURES SUR LES ARBRES DE L'EMPRISE

Voir l'Annexe 1 "Protocole de description des grumes abattues" et l'Annexe 2 "Fiches de cubage"

Les arbres ont été numérotés de 1 à 45, systématiquement mais en éliminant les arbres déformés (4 arbres écartés sur la zone).

Arbres sur pied : diamètres à 1,30 m.

Arbres abattus : - les arbres ont été cubés en volume bois fort total (circonférence sur écorce > 20 cm) par la méthode des billons de longueur fixe de 2 m.

- tous les 2m la circonférence a été relevée et le volume des billons est déterminé par la formule du tronc de cône (voir en annexe la fiche de mesure).
- mesures systématiques de l'épaisseur d'écorce tous les 4 mètres à l'aide de 2 relevés perpendiculaires réalisés avec une jauge à écorce, permettant d'estimer le volume sous écorce de manière fiable à partir du volume sur écorce.

Ces résultats nous ont permis d'établir des tarifs de cubage sur écorce et sous écorce pour les pins wallisiens issus de plantations âgées de 15 à 22 ans.

Après cette première mesure, l'arbre est billonné selon ses caractères de forme et les caractéristiques imposées par la scie utilisée (scie ERVE), soit une longueur maximale de 3,80 m. Les zones courbes ou abîmées ont été purgées mais ont été cependant cubées.

Arbres billonnés :

Chaque billon a été:

- cubé selon la méthode du bûcheron (longueur x diamètre médian : c'est la mesure habituellement utilisée par les bûcheron). *Le volume sous écorce sera déterminé à l'aide des épaisseurs d'écorces relevées pour le cubage du tarif et non par mesure directe de la zone médiane écorcée.*
- classé suivant 3 classes de qualité :
 - . sciage,
 - . poteau : cette classe comprend tous les billons non éliminés pour défauts rédhibitoires mais dont le diamètre ne permet pas une utilisation en sciage ($\varnothing_{\text{moyen sur écorce}} < 15\text{cm}$),
 - . purge
- numéroté pour un cubage et un classement des avivés après sciage.

Cette opération a permis un récolement entre le volume brut bois fort relevé et le volume bûcheron utilisable.

Remarques : 1/ Le temps nécessaire à la réalisation de ces mesures et à l'écorçage des billons nous a contraint à limiter l'échantillonnage.

2/ Afin de compléter notre échantillon dans la partie supérieure (diamètre > 40 cm) nous avons réalisé des mesures d'arbres sur pieds à l'aide du relascope de Bitterlich pour les 6 plus gros arbres de la parcelle initialement choisie mais non exploitée. Ces mesures se sont révélées significativement différentes de celles réalisées sur l'échantillon d'arbres abattus qui n'ont donc pas été pris en compte (voir Annexe 3 "Graphe de la régression $V_{\text{sur}} = f(D^2)$ ").

33 - *ELABORATION DU TARIF DE CUBAGE*

331 - **Méthode d'élaboration**

Le volume de la tige est calculé en sommant le volume de tous les billons fictifs de deux mètres. Le volume individuel de chaque billon est déterminé par la formule du tronc de cône.

Le tarif de cubage est déterminé par régression linéaire multiple entre la variable à expliquer (volume sur écorce et volume sous écorce) et la (ou les) variable(s) explicative(s) (diamètre, hauteurs).

332 - **Caractéristiques dendrométriques de l'échantillon**

Paramètre	Moyenne	Médiane	Mode	Ecart type	Minimum	Maximum
D _{1,30}	31	30	28	0,88	20	44,5
H _{tot}	22,2	22,6	22,8	0,44	15,4	28
H _{bf}	18,8	18,9	18,6	0,44	11	24
H/D	74	73	72,8	1,62	55,5	101,8
V _{sur}	0,78	0,77	ND	0,054	0,24	1,66
V _{sous}	0,66	0,65	ND	0,046	0,19	1,46
déc. tronc	1,44	1,31	1,27	0,089	0,39	3,18
% écorce	15,8 %	15,4	ND	2,99	9,2 %	23,9 %

D_{1,30} : circonférence à 1,30m du sol

H_{tot} : hauteur totale de l'arbre jusqu'au bourgeon terminal

H_{bf} : distance entre le trait d'abattage et la découpe à 22 cm

H/D : facteur d'élancement

V_{sur} : volume bois fort sur écorce (tige entre le trait d'abattage et la découpe à 20 cm)

V_{sous} : volume bois fort sous écorce

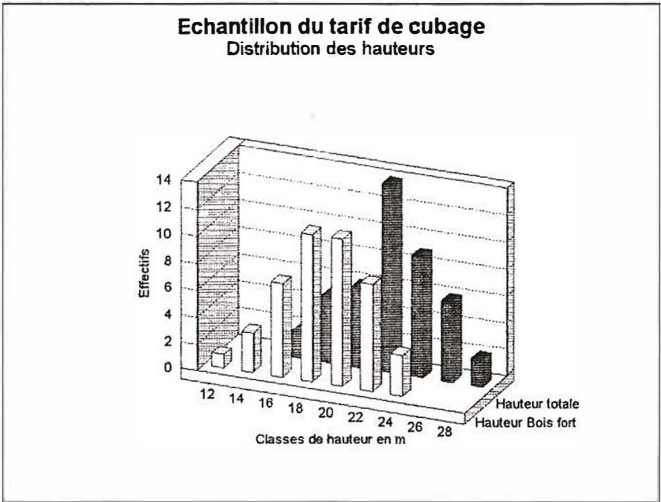
% écorce : pourcentage d'écorce sur le volume sur écorce calculé en considérant une épaisseur d'écorce constante égale à celle mesurée sur le gros bout de chaque billon de 4m. Cette méthode de calcul surévalue sensiblement le pourcentage réel d'écorce.

Déc. tronc : décroissance du diamètre sur les 4 premiers mètres du tronc

Les distributions des hauteurs et des circonférences de l'échantillon sont présentées dans la figure 1 ci-après.

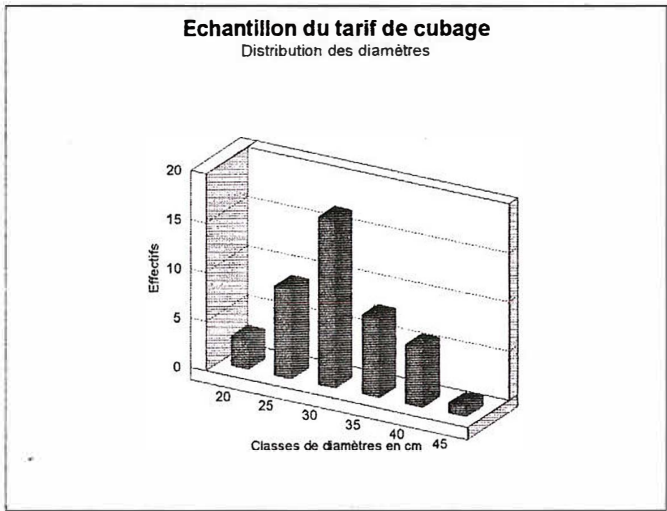
Distribution des hauteurs

Classes	Ht	Hbf
12		1
14		3
16	2	7
18	5	11
20	6	11
22	14	8
24	9	3
26	6	
28	2	
Total	44	44



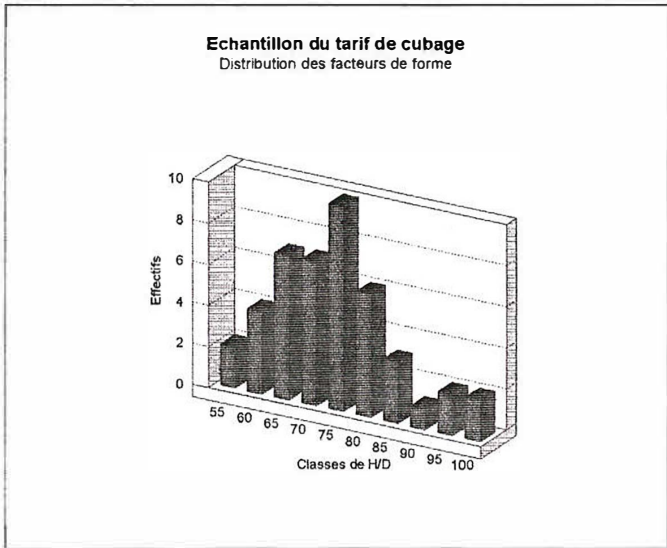
Distribution des diamètres

Classes	Effectifs
20	3
25	9
30	17
35	8
40	6
45	1
Total	44



Distribution des facteurs d'élanement

Classes	Effectifs
55	2
60	4
65	7
70	7
75	10
80	6
85	3
90	1
95	2
100	2
Total	44



Remarques

- la distribution des hauteurs "bois fort" est normale, bien équilibrée ;
- la distribution des hauteurs totales est normale avec un très léger déséquilibre entre la classe modale et la classe immédiatement inférieure au détriment de cette dernière ; ceci n'affecte pas la normalité de la courbe ;
- la distribution des diamètres est relativement bien équilibrée avec néanmoins un léger déséquilibre par rapport à la classe modale vers les gros diamètres ; ce résultat peut être expliqué par le vieillissement de cette plantation sans éclaircie.
- la moyenne du facteur d'élancement est de 74. Ce chiffre est moyennement élevé et décrit un arbre moyen élancé, encore peu déséquilibré. Ceci peut être assez surprenant dans un peuplement qui n'a subi aucune intervention sylvicole à 19 ans. En fait, les différentes interventions humaines non contrôlées ainsi que les feux ont limité sérieusement la densité qui n'est pas exagérément élevée.

333 - Résultats et commentaires

333.1 *Etablissement des équations non pondérées*

A - Formules des tarifs de cubage exprimant un volume sur écorce

Nous avons testé plusieurs formules de tarif faisant intervenir les trois caractères suivants :
D : diamètre ; H_{tot} : hauteur totale ; H_{bf} : hauteur bois fort

Formules	Coefficients	c	b	a	r^2	erreur type
$V = c.D^2 + a$		0,000917		-0,1105	0,93	0,0966
$V = c.D^2 + b.D + a$		0,00032	0,038352	-0,7051	0,93	0,0944
$V = c.D^2.H_{tot} + a$		0,0000334		0,0384	0,96	0,0752
$V = c.D^2.H_{bf} + a$		0,0000374		0,0728	0,96	0,0723

Erreur type = s/\sqrt{n}

Les résultats décrits dans le tableau ci-dessus mettent en évidence les points suivants:

- pour un tarif à une entrée (D) la précision de la régression augmente peu lorsque l'on fait intervenir un terme en D en plus de celui en D^2 (+ 0,5 % du volume expliqué). Pour ne pas compliquer les calculs, la première formule sera choisie.
93% du volume de l'échantillon est expliqué ce qui est satisfaisant pour une formule à une entrée.

- les formules à deux entrées faisant intervenir soit D^2 et H_{tot} , soit D^2 et H_{bf} n'apportent quasiment rien de plus que les précédentes. Par rapport à la formule à une entrée, la prise en compte de la hauteur totale conduit à une précision quasi identique ($r^2 = 0,96$), et équivalente à la formule prenant en compte la circonférence et la hauteur bois fort qui explique 96% des variations.

En fonction de ces résultats, la précision apportée par les formules complexes n'étant pas significativement meilleure et systématiquement inférieure à l'erreur commise sur les mesures de la hauteur, nous ne retiendrons qu'une formule à une entrée (diamètre).

Modèle non pondéré à une entrée (voir caractéristiques de la régression en Annexe 3)

$$V_{sur} = 0,000917 D^2 - 0,110$$

$r^2 = 0,93$
 $D \in [18 ; 47]$
 $D \text{ en centimètres}$

Equation 1

Cette formule a l'avantage de la simplicité par rapport aux autres formules à une entrée qui n'apportent pas de précision supplémentaire significative. Elle s'applique aux données de mesures sur arbres sur pied.

B - Formules des tarifs de cubage exprimant un volume sous écorce

Le volume sous écorce calculé sous-estime légèrement le volume réel de bois en raison du mode de détermination de l'épaisseur d'écorce qui permet un calcul à partir du volume sur écorce. En effet, l'épaisseur d'écorce diminue entre la base et 4 mètres alors qu'elle n'est mesurée qu'à la base de chaque billon de 4 mètres et considérée comme constante. Le pourcentage d'écorce est donc surévalué.

Selon le mode de détermination de ce volume sur les arbres échantillons qui peut se résumer aux caractères V_{sur} et e (épaisseur d'écorce), la construction des formules du volume sera proche de celle de V_{sur} . Nous partirons donc du type de formule retenu pour V_{sur} . La prise en compte de e comme variable explicative améliorerait la qualité de la prédiction si cette variable faisait l'objet de mesures de routine ce qui n'est pas le cas. Nous nous limiterons donc à une formule exprimant V_{sous} à partir du diamètre à 1,30 m.

Formules	Coefficients	c	a	r ²	erreur type
$V = c.C^2 + a$		0,00077	-0,0954	0,90	0,0980
$V = c.C^2H_{bf} + a$		0,000032	0,0562	0,94	0,0749
$V = c.C^2H_{tot} + a$		0,000028	0,0271	0,94	0,0773

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessus mettent en évidence que la précision du tarif “volume sous écorce” diminue légèrement par rapport à celle du tarif “volume sur écorce” ce qui montre une légère instabilité de l'épaisseur d'écorce par rapport au diamètre.

Rappel : ces formules sont systématiquement biaisées du fait du mode de détermination du volume sous écorce.

Modèle non pondéré à une entrée (voir caractéristiques de la régression en Annexe 3)

$$V_{\text{sous}} = 0,00077 D^2 - 0,0954$$

$$r^2 = 0,90 \quad D \in [18 ; 47] \quad D \text{ en centimètres}$$

Equation 2

333.2 - *Etablissement des équations pondérées*

Cette pondération intervient si l'on veut réaliser des calculs d'incertitude sur les volumes d'un arbre ou d'un groupe d'arbres donné, volumes déterminés à partir du tarif de cubage. Le calcul des intervalles de confiance liés à l'échantillon qui a servi à établir le tarif, nécessite une hypothèse de départ qui est l'égalité des variances du volume sur le domaine de validité du tarif.

En général, la variance est proportionnelle au carré de la circonférence ; une étude de cette variance sur les classes de diamètre de notre échantillon met bien en évidence cette proportionnalité. Pour compenser ce caractère, il suffit de pondérer le volume de chaque arbre par l'inverse du carré de sa circonférence et de déterminer le nouveau tarif. La qualité de la nouvelle droite de régression est légèrement moins bonne, mais la variance obtenue permet le calcul de la marge d'incertitude (cf. l'ouvrage de Dagnélie pour plus de précision ; se reporter à l'annexe 4 pour la détermination de l'intervalle de confiance).

A - Formules des tarifs de cubage sur écorce

Modèle pondéré à une entrée

$$V_{\text{sur}} = 0,00095 D^2 - 0,141$$

$$r^2 = 0,93 \quad D \in [18 ; 47] \quad D \text{ en centimètres}$$

Equation 3

B - Formules des tarifs de cubage sous écorce

Modèle pondéré à une entrée

$$V_{\text{sous}} = 0,000802 D^2 - 0,119$$

$$r^2 = 0,90 \quad D \in [18 ; 47] \text{ } D \text{ en centimètres}$$

Equation 4

Ces deux dernières équations constituent les tarifs que nous recommandons pour le cubage des arbres des plantations de Hihifo qui ont entre 15 et 20 ans et dont les caractéristiques dendrométriques correspondent à celles de l'échantillon.

4 - ETABLISSEMENT DES COEFFICIENTS DE CONVERSION ENTRE LE VOLUME SUR PIED ET LES VOLUMES BÛCHERONS

Nous allons aborder ce sujet de deux manières. La première est un constat à partir des mesures effectuées. Cette méthode donnera des chiffres précis et une estimation de ce que l'on peut espérer dans un peuplement similaire mais sans permettre une évaluation de l'intervalle de confiance si l'on veut étendre ces résultats à d'autres mesures.

La seconde, permettra d'établir une régression entre le volume qui nous intéresse et le diamètre des arbres sur pied. Si le coefficient de corrélation de cette régression est correct, cela permettra une estimation du volume considéré en fonction du diamètre des arbres sur pied et une évaluation de l'intervalle de confiance de ce volume, élément directement utilisable par un acheteur éventuel d'un lot d'arbres sur pieds.

41 - *RÉSULTATS DES MESURES DU VOLUME BÛCHERON*

(voir figure 2 ci-après)

411 - Comparaison des deux méthodes de mesure

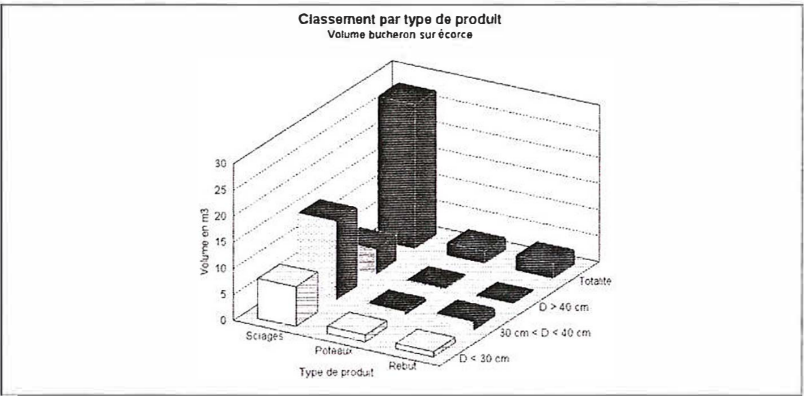
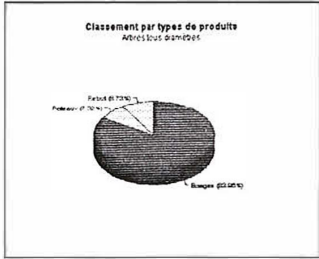
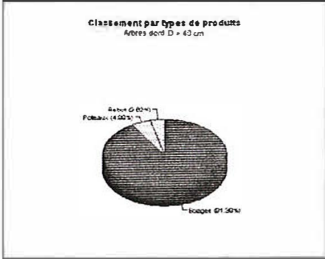
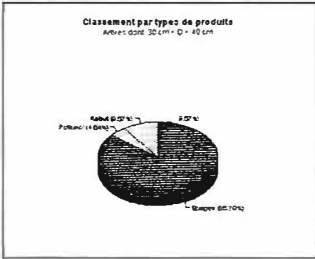
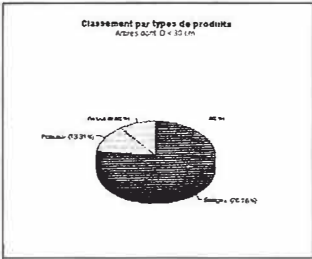
Les résultats de la figure 2 mettent en évidence un bon taux de récolement entre les mesures faites par la méthode des billons de 2 mètres et les mesures faites par la méthode du "bûcheron". Ce taux de récolement varie de 91% pour les plus gros arbres à 97 % pour les plus petits avec une moyenne de 96 % pour l'ensemble.

Cette variation régulière met en évidence une forme plus élancée des petits bois (arbres dominés) par rapport à celle des gros bois de forme plus conique. Cette conicité provoque un déficit du volume

Figure 2

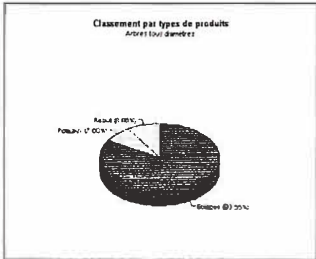
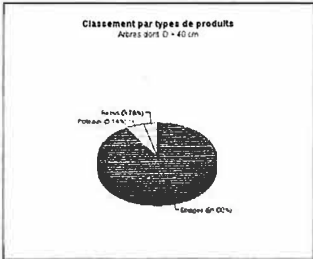
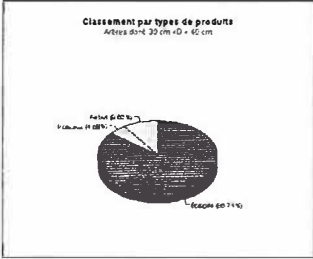
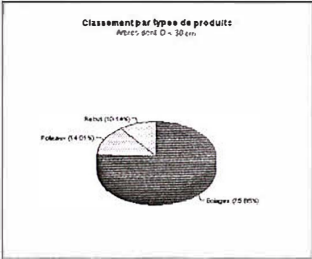
Volumes sur écorce

	Volume sur écorce											
	D < 30			30 < D < 40			D > 40			Totalité		
	Volume	% vol buch	% vol tar	Volume	% vol buch	% vol tar	Volume	% vol buch	% vol tar	Volume	% vol buch	% vol tar
Sciages	7.662	76.8%	74.8%	15.166	85.8%	82.3%	4.799	91.4%	83.5%	27.628	83.9%	80.3%
Poteaux	1.328	13.3%	13.0%	0.820	4.6%	4.5%	0.262	5.0%	4.6%	2.410	7.3%	7.0%
Rebut	0.990	9.9%	9.7%	1.693	9.6%	9.2%	0.190	3.6%	3.3%	2.872	8.7%	8.3%
Total	9.980	100.0%	97.5%	17.679	100.0%	96.0%	5.251	100.0%	91.4%	32.910	100.0%	95.7%
Tarif	10.237			18.422			5.746			34.406		



Volumes sous écorce

	Volume sous écorce											
	D < 30			30 < D < 40			D > 40			Totalité		
	Volume	% vol buch	% vol tar	Volume	% vol buch	% vol tar	Volume	% vol buch	% vol tar	Volume	% vol buch	% vol tar
Sciages	6.505	75.8%	75.7%	12.968	85.7%	82.9%	4.031	91.1%	83.8%	23.504	83.5%	80.9%
Poteaux	1.202	14.0%	14.0%	0.708	4.7%	4.5%	0.227	5.1%	4.7%	2.137	7.6%	7.4%
Rebut	0.870	10.1%	10.1%	1.455	9.6%	9.3%	0.167	3.8%	3.5%	2.492	8.9%	8.6%
Total	8.577	100.0%	99.8%	15.131	100.0%	96.7%	4.425	100.0%	92.1%	28.133	100.0%	96.8%
Tarif	8.597			15.646			4.807			29.050		



bûcheron par rapport à celui, plus exact, déterminé à partir de la formule du tronc de cône. Cette évolution est aussi liée au peuplement lui-même. Un peuplement ayant subi un autre traitement sylvicole aura des arbres avec des facteurs d'élancement différents et donc un taux de récolement global différent ainsi qu'une évolution de ce taux différente entre les classes de diamètre.

Cette différence explique une partie du déficit systématique en bois des mesures prises par le bûcheron qui minimisent le volume réel en bois d'un billon par rapport aux mesures d'arbres sur pied à partir des tarifs.

412 - Evolution de la répartition par type de produit selon les classes de diamètre

Le volume utilisable en sciage est élevé puisqu'il varie de 76% pour les petits bois jusqu'à 81% pour les gros bois. Ce rendement élevé dans la catégorie sciage met en évidence une bonne conformation générale de ce peuplement (peu de purges requises pour éliminer les courbures). Si l'on considère le volume purgé, celui-ci varie de 4% pour les gros bois à 10% pour les petits et moyens bois soit en moyenne 8,7% du volume bûcheron initial. Ce taux de purge est remarquablement faible pour les gros bois qui sont cependant peu représentatif du peuplement.

Les chiffres ne varient cependant pas de façon sensible entre les volumes sur écorce et sous écorce.

En résumé :

Taux de récolement :	
Volume bûcheron sciage sous écorce / Volume tarif total sous écorce	T = 80,9 %
Volume bûcheron utilisable/ Volume tarif total sous écorce	T = 88,3 %

Le volume bûcheron sciable représente 81 % du volume sous écorce calculé par le tarif de cubage.

42 - *ELABORATION D'UN TARIF DE CUBAGE DU VOLUME BÛCHERON EFFECTIVEMENT SCIABLE À PARTIR DU DIAMÈTRE DES ARBRES SUR PIED*

Formules des tarifs de cubage exprimant un volume sous écorce

Nous n'avons élaboré que deux formules donnant le volume bûcheron sous écorce sciage (V_{bs}) et le volume bûcheron sous écorce total (V_{bt}) à partir des diamètres des arbres sur pied:

Formules	Coefficients	c	a	r ²	erreur type
$V_{bS} = c.D^2 + a$		0,000677	-0,1244	0,85	0,1075
$V_{bT} = c.D^2 + a$		0,000702	-0,0435	0,88	0,0967

Erreur type = s/\sqrt{n}

Le pourcentage d'explication du volume sciage et du volume total est satisfaisant puisqu'il est de 85% pour le volume sciage et de 88% pour le volume total. Ce bon résultat permet d'envisager l'utilisation de cette régression pour donner une estimation assez fiable du volume de bois réellement sciable à partir des diamètres des arbres mesurés sur pied.

Par la suite, seul le volume sciage qui présente un réel intérêt, sera développé.

Remarque : il faut rappeler que ce tarif doit être utilisé dans un peuplement aux caractéristiques les plus proches possibles de l'échantillon car, outre les problèmes de géométrie du tronc de l'arbre, certains défauts imposent des purges quasiment impossibles à prévoir.

L'intérêt de cette étude étant de pouvoir donner une estimation de l'intervalle de confiance du volume bûcheron sciage, nous allons donner directement la formule pondérée en $1/D^2$ qui permet de fournir cette information.

Modèle pondéré à une entrée (voir caractéristiques de la régression en Annexe 3)

$$V_{bS} = 0,000713 D^2 - 0,158$$

$r^2 = 0,85$ $D \in [18 ; 47]$ D en centimètres

Equation 5

Cette formule a l'avantage de la simplicité par rapport aux autres formules à une entrée qui n'apportent pas de précision supplémentaire significative. Elle s'applique aux données de mesures sur arbres sur pied.

Calcul de l'intervalle de confiance pour l'arbre de D² moyen (détail en annexe 4)

$$Y = Y_{(x_o)} \pm 2,021 \sqrt{0,0117523 \left[\frac{1}{N} + \frac{1}{44} + \frac{(x_o - 972,89)^2}{6029397} \right]}$$

- où Y : volume de l'arbre à cuber de D² moyen (avec son intervalle de confiance)
 Y_o : volume de l'arbre de diamètre au carré moyen calculé par le tarif : $V_o = f(x_o)$
 x_o : moyenne du carré des diamètres des arbres à cuber
 N : nombre d'arbres à cuber

Le volume global des arbres à cuber est alors :

$$V = N \cdot Y$$

5 - DESCRIPTION DES ARBRES SÉLECTIONNÉS POUR L'ÉTUDE TECHNOLOGIQUE

Parmi les 45 arbres numérotés dans l'emprise, nous avons choisi et décrit 6 arbres situés dans la fourchette des diamètres en évitant les extrêmes :

- les plus petits ne sont pas représentatifs des arbres de 2^{ème} éclaircie ou de coupe finale d'un peuplement bien géré (les plantations n'ont subi aucune intervention sylvicole à l'exception de coupes sauvages),
- les plus gros pour lesquels aucun moyen de sciage n'est disponible (billons de plus de 35 cm de diamètre gros bout).

Les billes de pied ont été sciées, traitées et expédiées par avion à la Maison de la Technologie à Montpellier pour y réaliser les analyses technologiques. Le détail des opérations de terrain concernant cette phase sont consignées en Annexe 5 "Rapport de mission à Uvea, décembre 1995".

6 - SÉLECTION DES AVIVÉS DU COMMERCE

Trois importateurs ont été rencontrés. L'un n'importait que du Douglas (très bien conditionné et de belle qualité). Les deux autres importaient du *Pinus radiata* de Nouvelle Zélande.

Pour l'un des deux, le bois n'était pas traité, l'empilage peu satisfaisant, et les planches souvent pourries ou de qualité coffrage uniquement (choix CTBA 3A ou 3B).

Le second proposait du *Pinus radiata* de bonne qualité, traité aux sels de CCA. Notre choix a donc porté sur ce dernier. Le détail de la qualité de ces avivés est consigné en Annexe 5 “ Rapport de mission à Uvea, décembre 1995”.

Leur classement selon les règles CTBA est constant pour la totalité de la pile : choix 3A “Charpente traditionnelle”.

7 - SCIAGE ET CLASSEMENT DES AVIVÉS

Voir en Annexe 5 “Rapport de mission à Uvea, décembre 1995”

Le protocole de mesures prévoyait un suivi individuel de tous les billons mesurés lors de cette opération avec un classement et la mesure de tous les avivés. Malheureusement, cette opération n'a pas eu lieu en raison d'une panne qui a bloqué la scie plus de six mois et du rendement désespérément faible de l'équipe de sciage en l'absence de l'ingénieur responsable du secteur forestier. Il ne nous est donc pas possible de donner des informations plus précises concernant le récolement et le classement des bois après sciage. Les seuls éléments dont nous disposons proviennent des observations faites lors de la mission sur les premiers avivés produits qui présentaient une proportion non négligeable de planches de choix n° 1 (sciage des billes de pied pour les échantillons).

Les billons ont été numérotés et lors du sciage, tous les avivés obtenus auraient dû être classés en 3 choix :

choix n°1 correspondant aux choix OA, OB et 1 du CTBA

choix n°2 correspondant au choix 2 du CTBA

choix n°3 correspondant aux choix 3A et 3B du CTBA

8 - CARACTÉRISATION TECHNOLOGIQUE DES BOIS ET COMPARAISON AVEC DES PINS IMPORTÉS

81 - RAPPEL DES OBJECTIFS DE LA CARACTÉRISATION TECHNOLOGIQUE DES BOIS

- ☞ Les essais technologiques réalisés sur les bois de *Pinus caribaea* de Wallis et Futuna doivent permettre de mieux connaître et mieux faire connaître les propriétés de base de ces bois afin d'optimiser l'adéquation qualité/utilisations.
- ☞ La comparaison des propriétés du bois de *Pinus caribaea* de Wallis et Futuna et de *Pinus radiata* importé de Nouvelle-Zélande a pour objectif de montrer que la ressource locale présente une qualité comparable à celle des bois importés, et de ce fait favoriser le développement de son utilisation.

82 - MATÉRIEL VÉGÉTAL UTILISÉ

☐ 6 plateaux de coeur de *Pinus caribaea* wallisien prélevés dans la bille de pied de 6 arbres choisis parmi 45 individus sélectionnés pour l'étude

- 1 plateau de 100x20x5cm prélevé dans la bille de pied (entre 3m et 4m) de l'arbre n°8. Il présente de façon très marquée des zones rouges sombres apparemment liées à une forte concentration locale de résine. En périphérie sur environ 4cm à partir de la rive, les cernes sont très étroits et difficilement différenciables.
- 1 plateau de 100x16x5,5cm prélevé dans la bille de pied (entre 1,40m et 2,40m) de l'arbre n°19. Il présente plusieurs fentes ainsi qu'un léger bleuissement. En périphérie, sur environ 3cm à partir de la rive, les cernes sont très étroits et difficilement différenciables comme sur le plateau précédent.
- 1 plateau de 100x18,5x4cm prélevé dans la bille de pied (entre 1,30m et 2,30m) de l'arbre n°26. Dans la zone centrale du plateau, les noeuds sont très abondants.
- 1 plateau de 100x27x7,7cm prélevé dans la bille de pied (entre 0,30m et 1,30m) de l'arbre n°36. Ce plateau présente plusieurs fentes ainsi que du bois de compression très visible dans sa zone centrale ; les cernes, très étroits en périphérie sur 5cm à partir de la rive, sont difficiles à différencier.
- 1 plateau de 100x27x7,7cm prélevé dans la bille de pied (entre 3m et 4m) de l'arbre n°39. Il présente comme le plateau précédent de nombreuses fentes ainsi que du bois de compression marqué dans sa zone centrale ; les cernes, très étroits en périphérie sur 5cm à partir de la rive, sont comme précédemment difficiles à différencier.
- 1 plateau de 100x25x5,7cm prélevé dans la bille de pied (entre 3m et 4m) de l'arbre n°41. Ce plateau légèrement bleui présente de nombreuses fentes ainsi que plusieurs très gros noeuds.

☐ 3 disques transversaux de *Pinus caribaea* wallisien

1 disque prélevé à la base de l'arbre n°39 et 2 disques prélevés sur 2 individus codominants pour une analyse de cernes.

☐ 6 avivés de *Pinus radiata* importés de Nouvelle-Zélande

Les 6 pièces (100x15x5cm) ont reçu un traitement de préservation au CCA (sels de cuivre-chrome-arsenic).

83 - CARACTÉRISTIQUES ÉTUDIÉES

Les caractéristiques technologiques de base qui ont été étudiées sont les suivantes :

- ☐ Propriétés physiques : densité, dureté Monnin, retraits linéaires transverses de séchage (radial et tangentiel), sensibilité aux variations d'humidité.
- ☐ Propriété mécanique : module d'élasticité longitudinal (= module d'Young).
- ☐ Durabilité naturelle : résistance aux champignons et résistance aux termites.

831 - Densité

La densité est déterminée sur des échantillons stabilisés en chambre climatisée (humidité relative de l'air : $65\% \pm 2\%$; température : $25^\circ \pm 1^\circ$). Ces conditions correspondent à une humidité théorique du bois de 12%. En pratique, comme cela a été observé sur la plupart des essences tropicales étudiées au CIRAD-Forêt, et compte tenu du phénomène d'hystérésis entre les phases de sorption et de désorption du bois (Guitard 1987), l'humidité d'équilibre d'échantillons initialement verts puis stabilisés est supérieure à 12% ; dans le cas présent, elle est comprise entre 13% et 15%.

La densité à 12% est une caractéristique technologique de base, la première à déterminer pour qualifier un bois ; cette propriété est corrélée, plus ou moins étroitement, avec les principales propriétés physiques et mécaniques du bois ainsi qu'avec certaines caractéristiques de mise en oeuvre (durabilité naturelle, imprégnabilité...) ; elle est *"la variable physique explicative majeure de la variabilité totale des constantes élastiques"* (Guitard et El Amri 1987).

Cette propriété et le module d'élasticité longitudinal sont déterminés simultanément sur les mêmes éprouvettes testées sur le banc d'essai acoustique (cf. §836). La détermination du module nécessite la prise en compte de la masse et des 3 dimensions de l'éprouvette ; l'opérateur doit saisir ces paramètres qui sont nécessaires au calcul des modules apparents ; la masse volumique est obtenue directement à l'issue de la mesure.

Suivant la norme NF B 51-005 (sept.1985), la mesure de la densité à 12% exige l'utilisation d'un voluménomètre à mercure. Cependant, les valeurs de densité obtenues simultanément au module d'élasticité longitudinal par la méthode acoustique sont directement comparables à celles obtenues en utilisant la méthode standard (Gérard 1994).

833 - Dureté Monnin

Cet essai permet de déterminer la résistance à la pénétration sur la face radiale du bois, d'un cylindre métallique de rayon donné, appliqué suivant une génératrice, sous un effort continu. Il est réalisé sur des éprouvettes de section carrée de 20mm de côté et d'au minimum 100mm de longueur parallèlement au fil du bois.

Le protocole d'essai est défini dans la norme NF B 51-013 (sept. 1985).

834 - Retreats linéaires transverses de séchage

Jusqu'au point de saturation des fibres, le bois ne se rétracte pas en séchant ; en revanche, en dessous de ce seuil, le bois est soumis à des variations dimensionnelles quand son humidité varie. Ce retrait intervient suivant les 3 directions du bois : longitudinale, tangentielle, radiale. Le retrait longitudinal est très faible par rapport aux deux autres ; le retrait tangentiel total et le retrait radial total sont habituellement déterminés pour qualifier le comportement du bois lors du séchage ou plus généralement lors de variations d'humidité.

Le retrait total R par rapport à l'état saturé (Rt pour le retrait tangentiel ou Rr pour le retrait radial) est donné par la relation :

$$R = (Ds-Do)/Ds \times 100$$

où Ds et Do sont respectivement les dimensions des échantillons dans la direction considérée à l'état saturé puis à l'état anhydre.

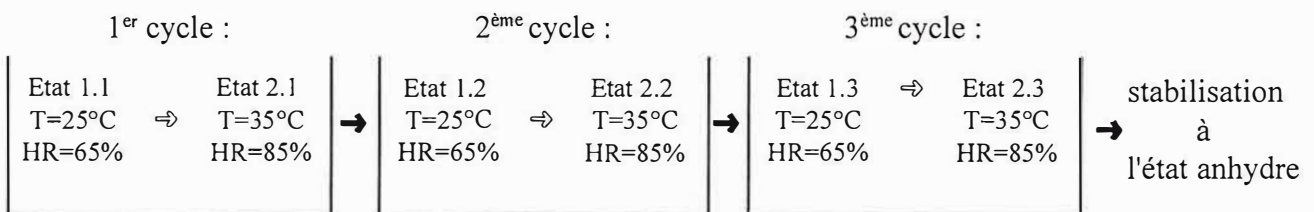
L'essai est réalisé sur des plaquettes carrées de 40mm de côté et 10mm d'épaisseur (parallèlement au fil du bois).

Le protocole d'essai est défini dans la norme NF B 51-006 (sept. 1985).

835 - Sensibilité aux variations d'humidité

Les essais de sensibilité des bois aux variations d'humidité, essai non standard et correspondant à une procédure mise au point au CIRAD-Forêt, permettent de quantifier l'aptitude d'un bois à perdre ou à reprendre de l'humidité lors de changements cycliques des conditions ambiantes. Ce paramètre donne des informations complémentaires par rapport à celles fournies par les retraits de séchage.

Les essais sont réalisés sur des éprouvettes minces d'orientation quelconque (L = 10cm ; l = 6cm ; e = 0,5cm) ; ces plaquettes subissent trois cycles de stabilisation sous 2 conditions de température et d'hygrométrie différentes, selon le schéma suivant :



Pour chacun des cycles, on détermine les variations d'humidité des plaquettes entre l'état 1.i et l'état 2.i ; la moyenne de ces variations sur les 3 cycles permet de définir la sensibilité du bois aux variations d'humidité.

836 - Module d'élasticité longitudinal

Le module d'élasticité longitudinal E_L est une propriété de première nécessité technologique nécessaire à déterminer pour les emplois en structure où les pièces de bois sont fréquemment sollicitées en flexion statique suivant leur plus grande direction, parallèlement aux fibres.

Le module d'élasticité longitudinal du bois stabilisé à une humidité théorique de 12% est une caractéristique mécanique de référence.

Cette propriété est déterminée sur des éprouvettes stabilisées en chambre climatisée.

Note sur la méthode de mesure du module d'élasticité longitudinal :

La méthode de mesure utilisée met en oeuvre un dispositif acoustique (méthode non standard) conçu au CIRAD-Forêt par P.A. Bordonné (1989).

Ce dispositif permet notamment de mesurer le module dynamique d'éprouvettes sans défaut par analyse du spectre de leurs fréquences de résonance :

* Préalablement à la mesure, l'opérateur doit saisir les 3 dimensions et la masse de l'éprouvette.

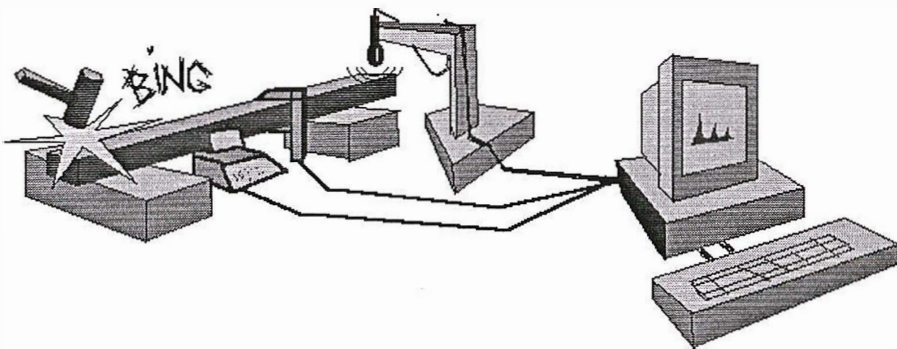
* L'éprouvette qui repose sur 2 élastiques de rigidité négligeable est mise en vibration par percussion d'une de ces 2 extrémités ; les premiers modes propres de la poutre flottante sont ainsi sollicités ; un microphone placé perpendiculairement à l'axe de l'éprouvette à son autre extrémité enregistre le signal transmis ; ce signal est traité par une procédure FFT (Fast Fourier Transform).

* Le module spécifique de l'éprouvette ($=E_L/\text{densité}$), dont est déduit le module d'élasticité longitudinal E_L est estimé à partir d'un ajustement sur les premiers modes (au minimum 2, au maximum 5), suivant la théorie de Timoshenko sur les poutres flottantes (l'inertie de rotation et le cisaillement sont pris en compte) ; l'opérateur sélectionne directement sur le spectre de fréquences du signal transformé le nombre de fréquences propres utilisées et leur rang.

Cette méthode d'essai dynamique présente les principaux avantages suivants :

- les éprouvettes testées ne subissent aucun endommagement ; elles peuvent être réutilisées ultérieurement pour la mesure d'autres caractéristiques ce qui permet d'éliminer les biais dus à la variabilité inter-échantillons lors d'études de corrélation entre propriétés,
- les mesures sont "répétables", faciles à mettre en oeuvre et très rapides d'exécution,
- les éprouvettes présentant des défauts internes sont facilement repérables : leur spectre de fréquences de résonance présente des anomalies flagrantes (double pic de fréquences ou absence de pic bien marqué).

Schéma du dispositif de mesure du module d'élasticité longitudinal



837 - Résistance aux champignons

La résistance des bois aux champignons est déterminée sur des échantillons de dimension normalisée mis en présence de souches de champignons dans des conditions ambiantes contrôlées. Ces essais durent plusieurs mois. L'intensité de l'attaque des champignons, et par conséquent la résistance naturelle des bois, est quantifiée par la perte de masse des échantillons à laquelle est appliquée un coefficient correcteur dépendant de l'humidité des bois.

Des classes de résistance sont ensuite définies en correspondance avec des fourchettes de perte de masse :

0% à 5% de perte de masse : bois très durables - classe 1

5% à 10% de perte de masse : bois durables à très durables - classe 2

10% à 15% de perte de masse : bois durables - classe 3

15% à 20% de perte de masse : bois moyennement durables - classe 4

plus de 20% de perte de masse : bois peu à non durables - classe 5

La résistance des bois est testée sur 4 souches de champignons:

Coriolus versicolor : pourriture fibreuse

Pycnoporus sanguineus : pourriture fibreuse

Antrodia sp. : pourriture cubique

Lentinus squarrosulus : pourriture fibreuse

Le protocole expérimental de cet essai est défini dans la norme EN 113.

838 - **Résistance aux termites**

Les conditions de détermination de la résistance des bois aux termites sont analogues à celles de la résistance aux champignons. Des échantillons de dimension normalisée sont mis en présence de termites. L'intensité de l'attaque des termites, et par conséquent la résistance naturelle des bois, est quantifiée à partir de l'appréciation de la profondeur de pénétration des termites dans l'échantillon. Cinq classes de résistance sont définies :

classe 1 : bois très résistants

classe 2 : bois résistants

classe 3 : bois moyennement résistants

classe 4 : bois peu résistants

classe 5 : bois non résistants

Le protocole expérimental de cet essai est défini dans la norme EN 118.

84 - **SYNTHÈSE DES RÉSULTATS**

Remarque :

Chacun des 6 plateaux de *Pinus caribaea* wallisien a fait l'objet d'une série individualisée d'essais, l'origine de chacun des arbres étant bien identifiée.

En revanche, les 6 avivés de *Pinus radiata* ont été traités de façon groupée compte tenu de l'absence d'information concernant leur origine (prélèvement dans un lot commercial).

841 - **Pinus caribaea**

841.1 *Propriétés physiques et mécaniques*

A - Résultats par arbre

Le tableau ci-après reprend les résultats obtenus pour chacun des 6 arbres étudiés.

		Arbre n°8	Arbre n°19	Arbre n°26	Arbre n°36	Arbre n°39	Arbre n°41
Densité	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	3 0,6 Léger -	3 0,72 Mi-lourd -	3 0,59 Léger -	10 0,58 Léger 0,09	3 0,54 Léger -	6 0,38 Très léger -
Dureté	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	3 3,0 Mi-dur -	3 5,0 Mi-dur -	3 1,4 Très tendre -	10 2,9 Tendre 1,39	4 2,0 Tendre -	6 1,0 Très tendre 0,39
Retrait tangential total (%)	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	10 8,1 Moyen 0,21	15 8,3 Moyen 0,4	10 6,6 Moyen 0,17	10 7,6 Moyen 0,21	10 6,6 Moyen 0,2	10 6,5 Moyen 0,27
Retrait radial total (%)	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	10 4,7 Moyen 0,27	15 5,2 Moyen 0,52	10 3,0 Faible 0,17	10 6,7 Moyen 0,16	10 3,9 Moyen 0,21	10 3,7 Moyen 0,29
Sensibilité aux variations d'humidité (%)	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	1 2,4 Faible -	1 2,3 Faible -	1 2,6 Faible -	1 2,8 Faible -	1 2,5 Faible -	1 2,4 Faible -
Module d'élasticité longitudinal (MPa)	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	3 10840 Moyen -	3 17600 Fort -	3 7990 Faible -	10 8940 Faible 5700	3 9860 Faible -	6 5810 Faible -

B - Résultats synthétiques

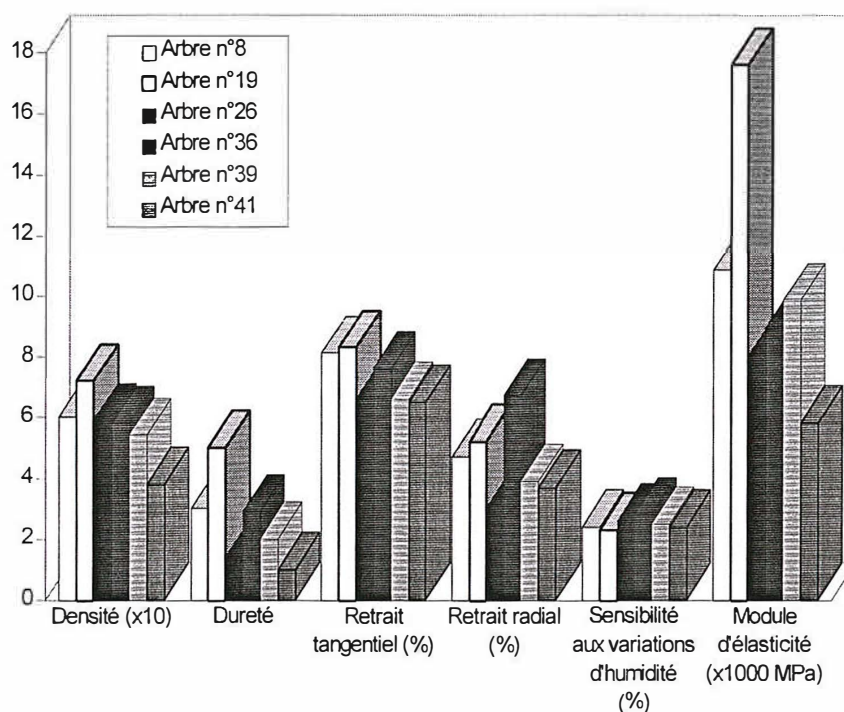
	Arbre n°8	Arbre n°19	Arbre n°26	Arbre n°36	Arbre n°39	Arbre n°41	Propriété moyenne
Densité	0,6	0,72	0,59	0,58	0,54	0,38	0,57 (léger)
Dureté	3,0	5,0	1,4	2,9	2,0	1,0	2,5 (tendre)
Retrait tangential total(%)	8,1	8,3	6,6	7,6	6,6	6,5	7,3 (moyen)
Retrait radial total(%)	4,7	5,2	3,0	6,7	3,9	3,7	4,5 (moyen)
Sensibilité aux variations d'humidité (%)	2,4	2,3	2,6	2,8	2,5	2,4	2,5 (faible)
Module d'élasticité longitudinal (MPa)	10840	17600	7990	8940	9860	5810	10170 (moyen)

C - Interprétation des résultats ; variations des propriétés

Les bois de *Pinus caribaea* étudiés présentent une densité faible à très faible (bois très léger à léger), une dureté très faible à moyenne (bois très tendre à mi-dur), des retraits de séchage moyens, une faible sensibilité aux variations d'humidité, et des propriétés mécaniques peu élevées. Comme cela est souvent observé pour les essences de plantation, notamment les Pins, les caractéristiques des bois peuvent présenter des variations importantes :

- ☛ Entre les individus étudiés (variations inter-arbres) : dans un rapport de 1 à 1,9 pour la densité, de 1 à 5 pour la dureté, de 1 à 1,3 pour le retrait tangentiel, de 1 à 1,8 pour le retrait radial, de 1 à 3 pour le module d'élasticité ; la sensibilité aux variations d'humidité est la propriété physico-mécanique la plus stable (variations dans un rapport de 1 à 1,2 entre les 6 arbres).

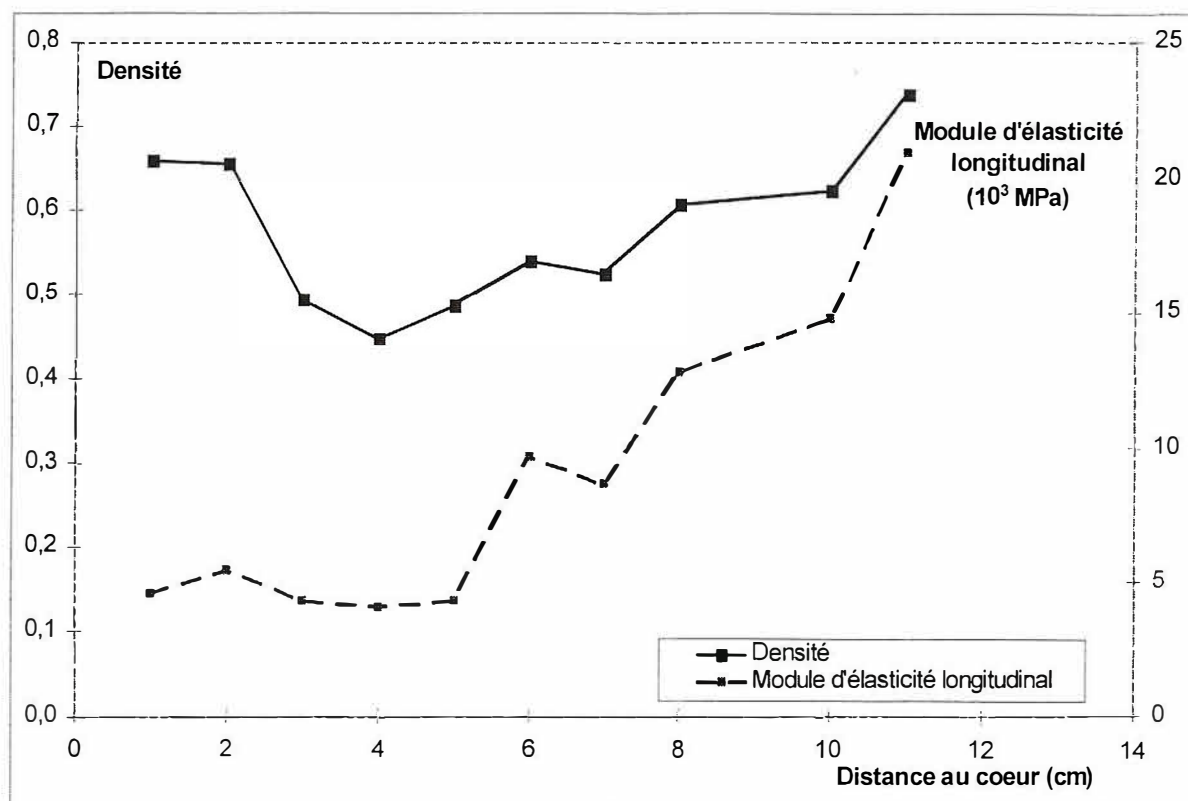
Les variations de propriétés entre individus sont représentées sur le schéma ci-dessous.



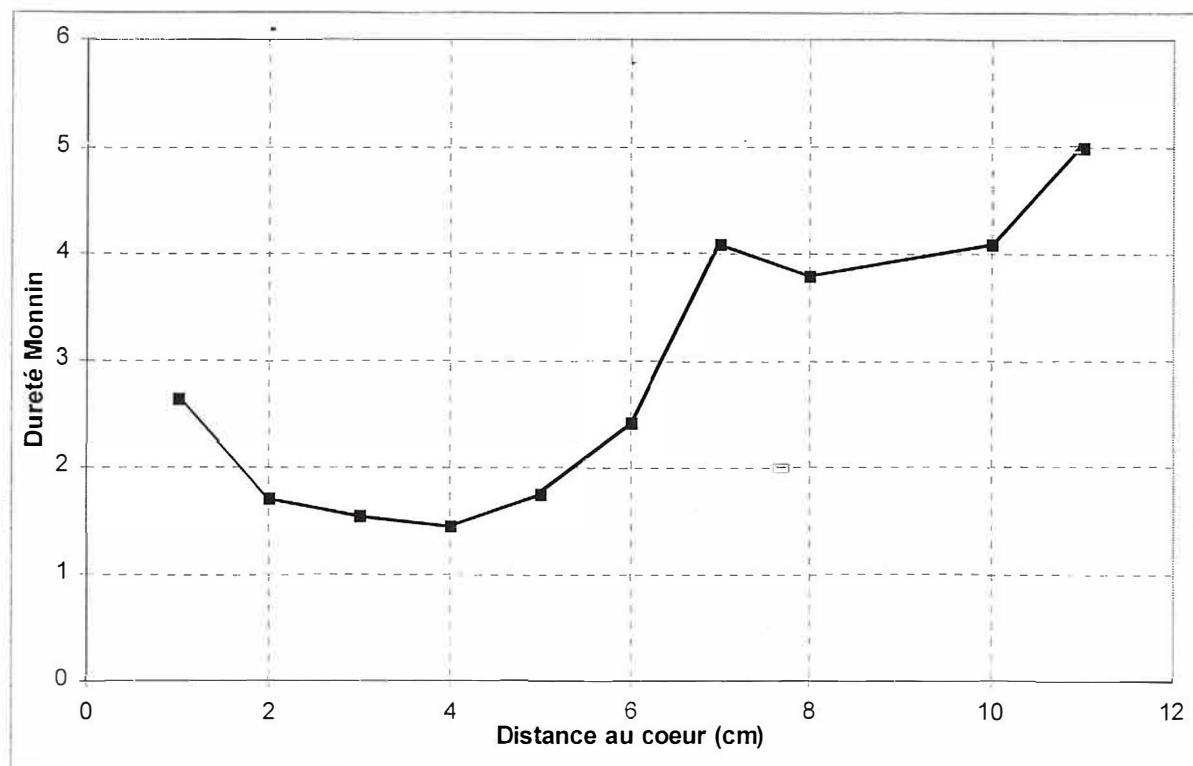
- ☛ A l'intérieur de chaque individu (variations intra-arbre) : ces variations sont très souvent plus importantes que les variations inter-arbres, notamment chez les jeunes individus ; elles sont essentiellement liées à l'évolution progressive de la structure du bois du cœur vers la périphérie en relation avec le vieillissement de l'arbre (transition progressive entre le bois juvénile et le bois adulte, ou plus exactement diminution de la juvénilité du bois de la moelle vers le cambium).

Cette évolution de propriétés a été notamment mise en évidence sur l'arbre n°36 pour lequel un nombre suffisant d'échantillons a pu être prélevé sur le rayon (cf. graphes page suivante).

Arbre n° 36 : variations radiales de densité et de module d'élasticité longitudinal



Arbre n° 36 : variations radiales de la dureté



Dans l'arbre n° 36, le module d'élasticité longitudinal varie le long du rayon dans un rapport de 1 à plus de 5, la densité dans un rapport de 1 à 1,6, et la dureté dans un rapport de 1 à 3,5.

L'augmentation globale de propriétés depuis la moelle jusqu'au cambium traduit l'évolution de la structure du bois liée à la transition progressive bois juvénile-bois adulte.

Au voisinage du coeur, l'augmentation de densité (et corrélativement de dureté) est liée à une forte concentration en résine (phénomène fréquent chez les résineux).

Les variations intra-arbre et inter-arbres des retraits de séchage (radial et tangentiel) sont peu élevées ; cependant, certaines éprouvettes présentent des retraits particulièrement faibles en relation avec un aspect du bois particulier.

Par ailleurs, lors de la phase de stabilisation en atmosphère conditionnée avant essais, les bois de *Pinus caribaea* se sont fendus de façon importante et surprenante pour des Pins.

L'observation de sections transversales minces prélevées sur les 3 disques transversaux a mis en évidence d'importantes zones de bois de compression, ainsi que des accumulations de résine qui confèrent au bois une coloration orangée translucide.

Ces zones ne sont pas localisées sur un seul secteur comme cela se produit classiquement lorsque l'arbre réagit à un événement extérieur, mais sont réparties sur toute la section.

L'alternance de zones de bois de compression et de bois "normal" induit des variations de retraits de séchage d'où l'apparition de fentes ; de même, la présence localement importante de résine rend le bois très peu perméable et plus stable ce qui induit ponctuellement des retraits très faibles d'où un comportement hétérogène du bois durant le séchage. Ce comportement peut être à l'origine de l'apparition de fentes et éventuellement de déformations de séchage.

Le développement de ces défauts dans le bois est dû à des événements extérieurs ; cependant, aucun facteur lié aux conditions environnementales ne semble en être à l'origine : la parcelle sélectionnée est située sur un terrain plat ; les alizés sont réguliers, orientés suivant une direction constante, et sont d'une intensité modérée ; aucun cyclone majeur n'a affecté les plantations durant ces dernières années.

L'explication la plus plausible est liée aux **feux de forêt** qui ont traversé plusieurs fois la plantation dans laquelle ont été prélevés les arbres, notamment en septembre 1983, septembre 1989, juillet 1993 ; il n'est pas exclu que d'autres incendies plus modérés aient pu affecter la parcelle prélevée sans avoir été enregistrés.

Compte tenu de leur niveau moyen de propriétés physiques et mécaniques, les bois de *Pinus caribaea* wallisien paraissent adaptés à des usages variés.

Cependant, dans le cadre d'une opération de valorisation en bois d'oeuvre de cette essence, il sera nécessaire de tenir compte des variations de ses propriétés afin de pouvoir constituer des lots commerciaux homogènes qui répondent à la demande des utilisateurs.

Une opération de sélection et de classement des produits de sciage sera donc un préalable indispensable à la commercialisation de ces bois. Cette sélection doit tenir compte de la qualité des arbres sur pied et des dégâts commis par d'éventuels incendies qui, en modifiant sa structure, altèrent la qualité du bois et limitent ses utilisations ultérieures.

841.2 *Préservation*

A - *Résistance aux champignons et aux termites*

a - *Résultats bruts*

Aubier

Souche de champignon	Perte de masse moyenne (%)
<i>Coriolus versicolor</i>	4,89
<i>Antrodia sp.</i>	58,99
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	1,87
<i>Lentinus squarrosulus</i>	1,06

Duramen

Souche de champignon	Perte de masse moyenne (%)
<i>Coriolus versicolor</i>	0,18
<i>Antrodia sp.</i>	0,34
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	0,54
<i>Lentinus squarrosulus</i>	0,38

b - *Interprétation*

Comme pour toutes les essences de bois (tropicales ou tempérées), l'aubier n'est pas naturellement durable et présente une très faible résistance aux champignons (classe de durabilité 5) ; en revanche, pour les 4 souches de champignons, les essais dans le duramen mettent en évidence une perte de masse inférieure à 1% ce qui correspond à une classe 1 pour la résistance aux champignons (bois très durable).

Par ailleurs les essais de résistance aux termites donnent des résultats équivalents :

aubier : classe 5 → bois non résistants

duramen : classe 1 → bois très résistants

B - *Imprégnabilité*

Comme pour toutes les essences de bois (tropicales ou tempérées) présentant un aubier différencié, l'aubier est facilement imprégnable.

L'imprégnabilité du duramen est variable et dépend de la teneur en résine qui peut être localement importante (les zones chargées de résine ne sont pas imprégnables).

C - *Conclusions sur les essais de préservation*

L'aubier de *Pinus caribaea* n'est pas naturellement durable mais présente une bonne imprégnabilité ; le duramen présente une imprégnabilité variable du fait de la présence de résine mais il est naturellement très durable.

A condition d'être traités (imprégnation en autoclave recommandée) du fait de la très faible durabilité naturelle de l'aubier, les bois de *Pinus caribaea* étudiés peuvent donc être utilisés pour des emplois présentant des risques d'attaques d'agents biologiques.

842 - *Pinus radiata*

842.1 *Résultats par avivé*

		Avivé n°1	Avivé n°2	Avivé n°3	Avivé n°4	Avivé n°5	Avivé n°6
Densité	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification	3 0,45 Très léger	4 0,44 Très léger	3 0,42 Très léger	3 0,41 Très léger	5 0,52 Léger	4 0,43 Très léger
Dureté	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification	3 1,4 Très tendre	4 1,1 Très tendre	3 1,0 Très tendre	3 1,1 Très tendre	5 1,7 Tendre	4 1,1 Très tendre
Retrait tangentiel total (%)	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	10 6,8 Moyen 0,26	10 7,9 Moyen 0,22	10 10,1 Fort 0,42	10 7,0 Moyen 0,37	10 8,2 Moyen 0,27	10 6,1 Faible 0,27
Retrait radial total (%)	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	10 4,0 Moyen 0,27	10 5,4 Moyen 0,24	10 4,4 Faible 0,21	10 3,5 Faible 0,26	10 3,6 Faible 0,27	10 2,3 Faible 0,23
Sensibilité aux variations d'humidité (%)	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	3 2,2 Faible -	8 2,1 Faible -	8 2,1 Faible -	8 2,7 Faible -	8 2,7 Faible -	8 2,5 Faible -
Module d'élasticité longitudinal (MPa)	Nbre d'éprouvettes Moyenne Qualification Ecart-type	3 6940 Faible -	4 10830 Moyen -	3 8120 Faible -	3 7450 Faible -	5 4890 Faible -	4 7600 Faible -

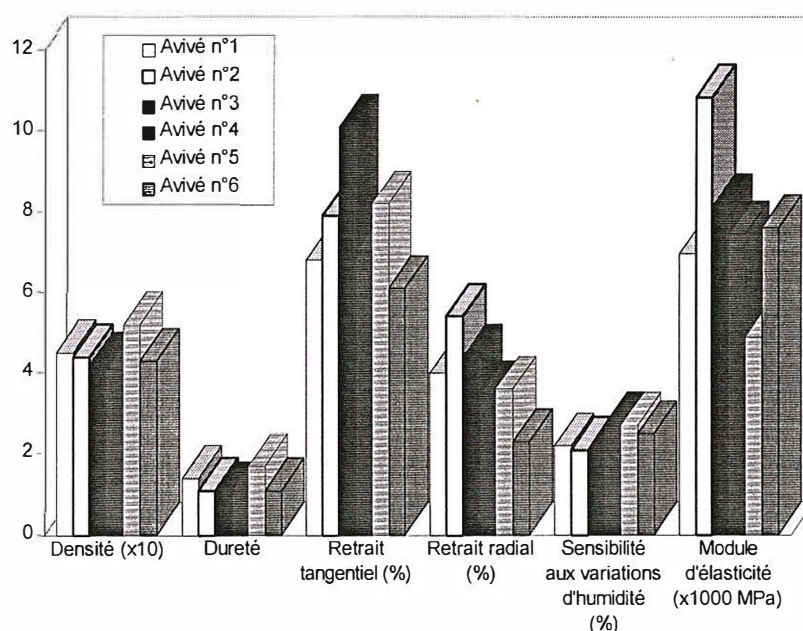
842.2 - Résultats synthétiques

	Avivé n°1	Avivé n°2	Avivé n°3	Avivé n°4	Avivé n°5	Avivé n°6	Propriété moyenne
Densité	0,45	0,44	0,42	0,41	0,52	0,43	0,45 (léger)
Dureté	1,4	1,1	1,0	1,1	1,7	1,1	1,2 (très tendre)
Retrait tangentiel total (%)	6,8	7,9	10,1	7,0	8,2	6,1	7,7 (moyen)
Retrait radial total (%)	4,0	5,4	4,4	3,5	3,6	2,3	3,9 (moyen)
Sensibilité aux variations d'humidité (%)	2,2	2,1	2,1	2,7	2,7	2,5	2,4 (faible)
Module d'élasticité longitudinal (MPa)	6940	10830	8120	7450	4890	7600	7640 (faible)

842.3 - Interprétation des résultats ; variations des propriétés

Les bois de *Pinus radiata* étudiés présentent une très faible densité (bois très léger), une très faible dureté (bois très tendre), des retraits de séchage moyen, une faible sensibilité aux variations d'humidité, et des propriétés mécaniques peu élevées.

Les variations de propriétés à l'intérieur du lot de bois étudié sont plus ou moins sensibles suivant les caractéristiques considérées : dans un rapport de 1 à 1,3 pour la densité, de 1 à 1,4 pour la dureté, de 1 à 1,7 pour le retrait tangentiel, de 1 à 2,3 pour le retrait radial, de 1 à 1,3 pour la sensibilité aux variations d'humidité, et de 1 à 2,2 pour le module d'élasticité longitudinal. Les variations de propriétés entre individus sont représentées sur le schéma ci-dessous.

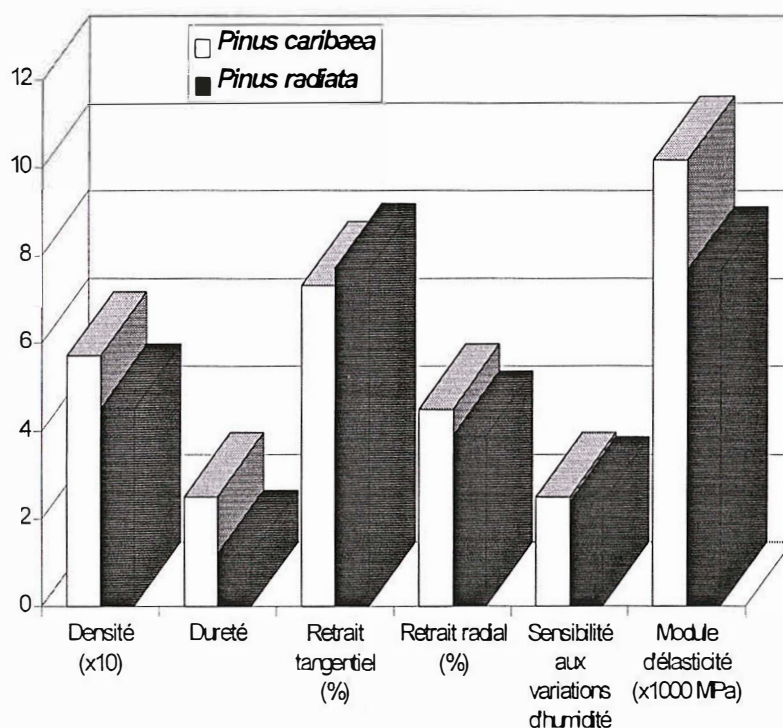


843 - Comparaison des caractéristiques technologiques du bois de *Pinus caribaea* wallisien et de *Pinus radiata* importé de Nouvelle-Zélande

Le tableau ci-dessous présente de façon comparative les caractéristiques physiques et mécaniques des deux essences.

	<i>Pinus caribaea</i> wallisien	<i>Pinus radiata</i> importé
Densité	0,57 (léger)	0,45 (léger)
Dureté	2,5 (tendre)	1,2 (très tendre)
Retrait tangentiel total (%)	7,3 (moyen)	7,7 (moyen)
Retrait radial total (%)	4,5 (moyen)	3,9 (moyen)
Sensibilité aux variations d'humidité (%)	2,5 (faible)	2,4 (faible)
Module d'élasticité longitudinal (MPa)	10170 (moyen)	7640 (faible)

Le graphe ci-dessous permet de visualiser cette comparaison



En moyenne, les bois de *Pinus radiata* importés sont plus légers, plus tendres et moins résistants mécaniquement que les bois de *Pinus caribaea* wallisiens (plus faible densité-dureté-module d'élasticité longitudinal, ces 3 propriétés étant bien corrélées). Cependant, les fortes teneurs locales en résine chez *Pinus caribaea* influent fortement sur les valeurs de certaines propriétés, notamment la densité.

De part ses caractéristiques physiques et mécaniques, le bois de *Pinus caribaea* est donc au moins aussi intéressant pour une utilisation en structure que le bois de *Pinus radiata*.

Les retraits de séchage des 2 essences sont en moyenne comparables ainsi que la sensibilité aux variations d'humidité. Cela se traduira par un comportement des bois similaire lors de variations d'humidité.

Dans le § 841.1 ont été mises en évidence et commentées les variations de propriétés du bois de *Pinus caribaea*. Il est délicat de comparer ces variations à celles du bois de *Pinus radiata* du fait des différences d'échantillonnage (expérimentations menées sur 6 arbres issus d'une même parcelle dans le premier cas et sur 6 avivés prélevés dans un même lot commercial dans le second cas).

On peut cependant noter que la sensibilité aux variations d'humidité est faible et peu variable pour les deux essences ; en revanche, pour les retraits de séchage, les variations "inter-avivés" chez *Pinus radiata* sont plus fortes que les variations inter-arbres chez *Pinus caribaea* alors qu'une plus grande homogénéité des propriétés est davantage attendue lors d'essais sur un lot commercial de bois (caractéristique se vérifiant pour les propriétés indicatrices de la "solidité" du bois : densité, dureté, module d'élasticité).

La durabilité naturelle et l'imprégnabilité du bois de *Pinus radiata* n'ont pas pu être déterminées en laboratoire car les échantillons testés avaient été préalablement imprégnés (le Pin radiata est exporté de Nouvelle-Zélande après avoir systématiquement reçu un traitement de préservation). D'après les données disponibles dans la littérature, la durabilité naturelle et l'imprégnabilité des deux essences sont comparables.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES, SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

Les premières plantations de pins sur les îles de Wallis et Futuna ont été mises en place en 1974. La production de grumes à Wallis est estimée entre 2000 et 2500 m³/an ce qui permettrait d'envisager la production puis la commercialisation d'environ 900 m³ de sciage par an, au prix de 60 000 francs CFP/m³, et en conséquence la création d'au moins 6 emplois.

Avant d'envisager la valorisation en bois d'oeuvre des pins de Wallis et Futuna (essentiellement *Pinus caribaea*), il a été jugé indispensable de faire le point sur leurs possibilités de transformation et de comparer leurs propriétés à celles des pins importés, d'où le lancement d'une opération pilote sur un lot de grumes, opération menée conjointement par :

- le Service de l'Economie Rurale et de la Pêche de Wallis et Futuna,
- le CIRAD-Forêt de Nouvelle-Calédonie et de Montpellier spécialisé notamment dans la promotion et l'étude des utilisations des bois tropicaux.

L'étude s'est organisée de la façon suivante :

- 1 - Sélection d'une parcelle représentative de la qualité moyenne de l'ensemble des plantations.
- 2 - Exploitation de 45 arbres et qualification des grumes.
- 3 - Sciage des bois à l'aide de la scie semi-mobile CTFT-ERVE.
- 4 - Classement des bois débités.
- 5 - Caractérisation des bois de *Pinus caribaea* wallisien et comparaison avec des bois de *Pinus radiata* importés : étude et comparaison des propriétés des bois des deux espèces (densité, dureté, retrait, stabilité, durabilité naturelle).

La parcelle sélectionnée a été plantée en 1975 et choisie par le Service de l'Economie Rurale sur des critères de représentativité moyenne des plantations.

Les arbres ont été cubés en volume total bois fort (circonférence sur écorce > 20 cm) par la méthode des billons de longueur fixe de 2 m. Des tarifs de cubage sur écorce et sous écorce ont été établis pour les pins issus de plantations wallisiennes âgées de 15 à 22 ans.

Les arbres ont été ensuite billonnés selon leurs caractères de forme et les caractéristiques imposées par la scie utilisée, soit une longueur maximale de 3,80 m. Les zones courbées ou présentant des défauts ont été éliminées. Les billons ont été cubés selon la méthode du bûcheron, classés en 3 classes de qualité, et numérotés pour le cubage et le classement des avivés après sciage. Cette opération a permis un récolement entre le volume brut bois fort relevé et le volume bûcheron utilisable.

Le tarif de cubage a été élaboré à partir du volume de la tige obtenu en sommant le volume de tous les billons fictifs de deux mètres, et déterminé par régression linéaire multiple entre la variable à expliquer (volume sur écorce, volume sous écorce) et la (ou les) variable(s) explicative(s) (diamètre, hauteurs).

Pour le cubage sur écorce, le modèle non pondéré à une entrée suivant a été obtenu :

$$V_{\text{sur}} = 0,00092 D^2 - 0,11 \quad \text{avec } r^2 = 0,93, D_{(\text{cm})} \in [18 ; 47]$$

Cette formulation a l'avantage d'être simple par rapport aux autres formules à une entrée qui n'apportent pas de précision supplémentaire significative. Elle s'applique aux données de mesures sur arbres sur pied.

Pour le cubage sous écorce, le modèle non pondéré à une entrée obtenu est le suivant :
 $V_{\text{sous}} = 0,00078 D^2 - 0,095$ avec $r^2 = 0,90$ et $D_{(\text{cm})} \in [18 ; 47]$

La pondération des modèles est nécessaire pour réaliser des calculs d'incertitude sur les volumes d'un arbre ou d'un groupe d'arbres donné, déterminés à partir du tarif de cubage.

Les modèles pondérés à une entrée respectivement sur écorce et sous écorce sont les suivants :

$$V_{\text{sur}} = 0,00095 D^2 - 0,14 \text{ avec } r^2 = 0,93 \text{ et } D_{(\text{cm})} \in [18 ; 47]$$

$$V_{\text{sous}} = 0,00080 D^2 - 0,12 \text{ avec } r^2 = 0,90 \text{ et } D_{(\text{cm})} \in [18 ; 47]$$

Ces deux formulations constituent les tarifs recommandés pour le cubage des arbres qui ont entre 15 et 20 ans et dont les caractéristiques dendrométriques sont voisines de celles de l'échantillon.

Les taux de récolement correspondants sont les suivants :

$$[\text{Volume bûcheron sciage sous écorce}] / [\text{Volume tarif total sous écorce}] = 81\%$$

$$[\text{Volume bûcheron utilisable}] / [\text{Volume tarif total sous écorce}] = 88 \%$$

Le volume bûcheron sciable représente donc 81 % du volume sous écorce.

Parmi les 45 arbres numérotés de l'emprise, 6 arbres représentatifs de la parcelle ont été sélectionnés et sciés selon le protocole fourni par le Programme Bois du CIRAD-Forêt, conditionnés (traitement antifongique) puis expédiés à Montpellier.

Les avivés commerciaux ont été sélectionnés chez un importateur et correspondent à un choix 3A suivant les règles CTBA.

Les principales caractéristiques technologiques étudiées sont les suivantes :

- propriétés physiques : densité, dureté Monnin, retraits linéaires transverses de séchage (radial et tangentiel), sensibilité aux variations d'humidité.
- propriété mécanique : module d'élasticité longitudinal (module d'Young).
- durabilité naturelle : résistance aux champignons et résistance aux termites.

Chacun des 6 plateaux de *Pinus caribaea* wallisien a fait l'objet d'une série individualisée d'essais, l'origine de chacun des arbres étant bien identifiée. En revanche, les 6 avivés de *Pinus radiata* ont été traités de façon groupée compte tenu de l'absence d'information concernant leur origine (prélèvement dans un lot commercial).

Le tableau ci-dessous reprend les résultats obtenus :

	Valeur moyenne
Densité	0,57 (léger)
Dureté	2,5 (tendre)
Retrait tangentiel total(%)	7,3 (moyen)
Retrait radial total(%)	4,5 (moyen)
Sensibilité aux variations d'humidité (%)	2,5 (faible)
Module d'élasticité longitudinal (MPa)	10170 (moyen)

Les bois de *Pinus caribaea* étudiés présentent une densité faible à très faible (bois très léger à léger), une dureté très faible à moyenne (bois très tendre à mi-dur), des retraits de séchage moyens, une faible sensibilité aux variations d'humidité, et des propriétés mécaniques peu élevées.

Comme cela est souvent observé pour les essences de plantation, notamment les Pins, les caractéristiques des bois présentent des variations importantes entre les individus étudiés (depuis un rapport de 1 à 1,2 pour la sensibilité aux variations d'humidité jusqu'à un rapport de 1 à 5 pour la dureté) et à l'intérieur de chaque individu, en relation avec la transition progressive entre le bois juvénile et le bois adulte, ou plus exactement la diminution de juvénilité du bois depuis la moelle vers le cambium (variations radiales dans un rapport de 1 à plus de 5 pour le module d'élasticité longitudinal).

L'observation de sections transversales minces a mis en évidence d'importantes zones de bois de compression, ainsi que des accumulations de résine qui confèrent au bois une coloration orangée translucide et des propriétés particulières. L'explication la plus plausible de ces défauts est liée aux feux de forêt qui ont traversé plusieurs fois la plantation dans laquelle ont été prélevés les arbres.

L'aubier de *Pinus caribaea* n'est pas naturellement durable mais présente une bonne imprégnabilité ; le duramen présente une imprégnabilité variable du fait de la présence de résine mais il est naturellement très durable.

A condition d'être traités (imprégnation en autoclave recommandée) du fait de la très faible durabilité naturelle de l'aubier, les bois de *Pinus caribaea* étudiés peuvent donc être utilisés pour des emplois présentant des risques d'attaques d'agents biologiques.

Le tableau ci-dessous présente comparativement les caractéristiques physiques et mécaniques du bois de *Pinus caribaea* wallisien et de *Pinus radiata* importé de Nouvelle-Zélande

	<i>Pinus caribaea</i> wallisien	<i>Pinus radiata</i> importé
Densité	0,57 (léger)	0,45 (léger)
Dureté	2,5 (tendre)	1,2 (très tendre)
Retrait tangentiel total (%)	7,3 (moyen)	7,7 (moyen)
Retrait radial total (%)	4,5 (moyen)	3,9 (moyen)
Sensibilité aux variations d'humidité (%)	2,5 (faible)	2,4 (faible)
Module d'élasticité longitudinal (MPa)	10170 (moyen)	7640 (faible)

En moyenne, les bois de *Pinus radiata* importés sont plus légers, plus tendres et moins résistants mécaniquement que les bois de *Pinus caribaea* wallisiens (plus faible densité-dureté-module d'élasticité longitudinal, ces 3 propriétés étant bien corrélées). Cependant, les fortes teneurs locales en résine influent fortement sur les valeurs de certaines propriétés, notamment la densité.

De part ses caractéristiques physiques et mécaniques, le bois de *Pinus caribaea* est donc au moins aussi intéressant pour une utilisation en structure que le bois de *Pinus radiata*.

Les retraits de séchage des 2 essences sont en moyenne comparables ainsi que la sensibilité aux variations d'humidité. Cela se traduira par des comportements similaires en cas de variations d'humidité. De même, la durabilité naturelle et l'imprégnabilité des deux essences sont voisines.

Compte tenu de ses propriétés physiques et mécaniques, de sa durabilité et de son comportement lors de la mise en oeuvre, les bois de *Pinus caribaea* wallisien paraissent adaptés à des usages variés.

Ils doivent recevoir un traitement de préservation approprié pour les utilisations en extérieur et lorsque les bois sont susceptibles d'être attaqués par les champignons, ceci afin de conférer une durabilité satisfaisante à l'aubier.

Le bois de *Pinus caribaea* peut convenir en construction, pour la fabrication de charpentes légères, de menuiseries intérieures, d'éléments de parquet et de panneaux décoratifs, de produits lamellés-collés, d'emballages divers (caisses, cagettes, boîtes), et de meubles légers. Pour toutes ces utilisations, et comme pour de nombreuses essences de plantation, il est conseillé d'éliminer les zones de bois juvénile afin d'améliorer la qualité des produits.

Cette essence peut convenir aussi pour la fabrication de contreplaqué (âme ou faces) et de panneaux en bois massif reconstitué.

La présence de noeuds limite les possibilités d'utilisation de cette essence sous forme de bois d'oeuvre pour des produits à haute valeur ajoutée. Cependant, les techniques d'aboutage et de lamellation permettent de mieux valoriser les bois présentant ces défauts.

Dans le cadre d'une opération de valorisation en bois d'oeuvre de cette essence, il sera nécessaire de tenir compte des variations de ses propriétés afin de pouvoir constituer des lots commerciaux homogènes qui répondent à la demande des utilisateurs.

Une opération de sélection et de classement des produits de sciage sera donc un préalable indispensable à la commercialisation de ces bois. Cette sélection doit tenir compte de la qualité des arbres sur pied et des dégâts commis par d'éventuels incendies qui, en modifiant sa structure, altèrent la qualité du bois et limitent ses possibilités d'utilisation.

BIBLIOGRAPHIE

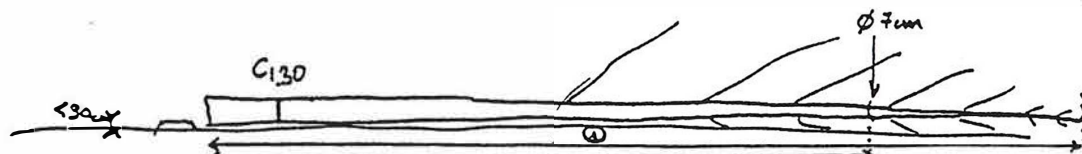
- ANDREW I.A., PLUMTRE R.A., 1973 : **An investigation of variation in wood density and growth rate of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* grown on various sites in east Africa.** Mimeo, Oxford University Department of Forestry, 14p.
- BANKS C.H., 1977 : **Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var. *caribaea* and var. *hondurensis*.** South African Forestry Journal 102, 1-7.
- BOLZA E., KEATING W.G., 1972 : **African timbers - the properties, uses and characteristics of 700 species.** Division of Building Research, CSIRO, Melbourne, 723 p.
- BORDONNE P.A., 1989 : **Module dynamique et frottement intérieur dans le bois: mesures sur poutres flottantes en vibrations naturelles.** Thèse de Doctorat en Sciences du Bois, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- CHUDNOFF M., 1984 : **Tropical Timbers of the World.** Agriculture Handbook n° 607, Forest Service, United States Department of Agriculture, Madison, 464 p.
- CIRAD-Forêt : **Protocole des essais physiques et mécaniques.** Remise à jour 1995, 30p.
- CIRAD-Forêt : **Base de données sur les caractéristiques technologiques des bois tropicaux.**
- COWN D.J., MCCONCHIE D.L., YOUNG G.D., 1981 : **Wood Properties of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* grown in Fiji.** New Zealand Forest Service, Forest Research Institute, Rotorua. Wood Quality Report n°39 (unpublished), 73 p.
- DEBAZAC E. F., 1991. **Manuel des conifères - 2^{ème} Edition.** Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. 172 p.
- DEON G., 1990 : **Manual for the Preservation of Wood in the Tropics.** CTFT, 112 p.
- FOREST PRODUCTS RESEARCH LABORATORY, 1957 : **Handbook of Softwoods.** London, HMSO, 73p.
- GERARD J., 1994 : **Contraintes de croissance, variations internes de densité et de module d'élasticité longitudinal, et déformations de sciage chez les *Eucalyptus* de plantation.** Thèse de Doctorat en Sciences du Bois, Université de BordeauxI.
- GREATHOUSE T.E., 1973 : **Pilot Plantations for Quick-Growing Industrial Tree Species.** Tree Improvement in Malaysian Conifer Plantations. FAO Report n°FO : SF/MAL 1 2, Technical Report B. 45 p.

- GUITARD D., 1987 : **Mécanique du matériau bois et composites**. Collection Nabla, Cépadues Editions, 238 p.
- GUITARD D., EL AMRI F., 1987 : **Modèles prévisionnels de comportement élastique tridimensionnel pour les bois feuillus et les bois résineux**. Annales des Sciences Forestières, vol.4, n°3, 335-358.
- LAMB A.F.A., 1973 : ***Pinus caribaea***. Vol. 1. Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics n°6, Commonwealth Forest Institute, Oxford, 254 p.
- MCCARTER P.S. , 1983 : ***Pinus caribaea* : Wood Properties and Uses**. Commonwealth Agricultural Bureau, F30, 52 p.
- PLUMPTRE R.A., 1984 : *Pinus caribaea* - Volume 2: Wood Properties. Tropical Forestry Paper n°17, Unit of Tropical Silviculture, Commonwealth Forestry Institute, university of Oxford, 148p.
- QUIONES S.S., DAYAN M.P., 1981 : **Notes on the Diseases of Forest Species in the Philippines**. Sylvatrop 6 : 61 - 68.

ANNEXES

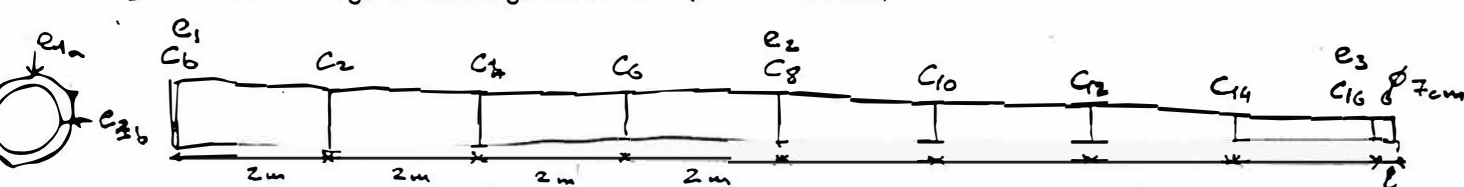
Protocole de description des grumes abattues

- 1 numérotation des arbres sur pied sur le flachis de martelage
- 2 circonférence (ou diamètre pris au ruban) à 1,30 m.
- 3 abattage de l'arbre
(trait d'abattage à moins de 30 cm du sol)



- 4 repérage du point où $Cir = 22$ cm (Diamètre = 7 cm) ②
mesure
 - ① de la longueur totale, depuis le trait d'abattage jusqu'au bourgeon terminal
 - ② de la grume "bois fort": jusqu'au point où $Cir = 22$ cm

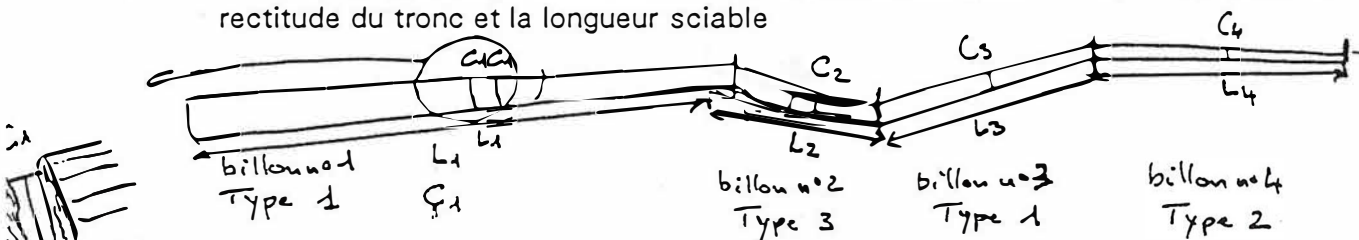
- 5 ébranchage et écimage de l'arbre (à $Cir = 22$ cm)



- 6 mesures des circonférences tous les deux mètres et mesure de l'épaisseur d'écorce selon la fiche jointe: 2 mesures perpendiculaires au point de mesure



- 7 marquer le billonnage bûcheron (là où le bûcheron devra tronçonner) selon la rectitude du tronc et la longueur sciable



- 8 mesures de chaque billon bûcheron et des purges selon fiche jointe
longueur
circonférence à mi-billon sous écorce

Cette étude permet de bien évaluer la destination des bois et donc de calculer les taux de rendement

Arbre sur pied --> billons prêts au sciage
--> poteaux

et les taux de conversion entre les volumes issus du tarif et les volumes commerciaux réels.

EXEMPLE

FICHE DE CUBAGE BUCHERON

Arbre n°: 1

Billon n°	Type	Longueur	Circ à L/2
1	1	4.20	65
2	3	0.50	60
3	1	3.10	48
4	3	0.80	45
5	1	3.50	38
6	2	4.20	25

Billon n°: les billons sont numérotés à partir de la base de façon croissante à partir de 1 pour chaque arbre

Type: type de billon

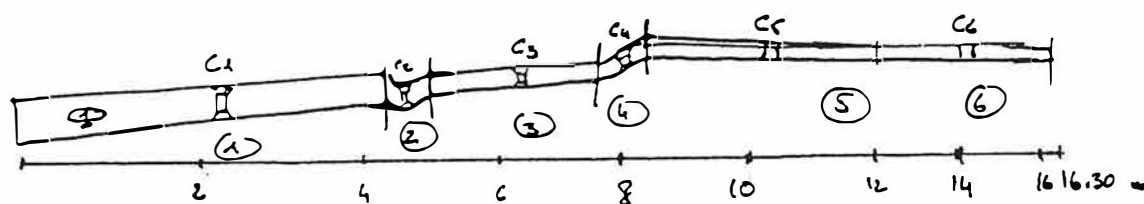
1: sciage

2: poteau

3: purge (trop courbé, cassé, pourri...)

Circonférence prise sous écorce (après avoir enlevé l'écorce à l'endroit de la mesure)

Schema saussichelle:



Exemple

FICHE DE CUBAGE

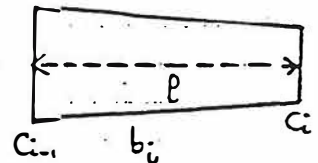
Arbre : 1 Annexe 2.2Circonférence à 130m : 84

Circonférence à mi-longueur

Localité : HihifoHauteur totale : 18,40Circ. à $\frac{L}{2}$: 48Parcelle : 17Hauteur découpe 7cm : 16,30 = LDate : 17/02/95

Billon	Mesure	Circonférence	Volume du	Epaisseur
b_i	C_i	sur écorce	billon	d'écorce
	Base		V_{b_i}	e_i
1		96		
2	2	81		
3	4	74		
4	6	60		
5	8	50		
6	10	42		
7	12	36		
8	14	30		
9	16	24		
10	18			
11	20			
12	22			
13	24			
14	26			
15	28			
16	30			
17	32			
18	34			
19	36			
20	38			
	40			

$$1) V_{b_i} = \frac{1}{12\pi} [C_{i-1}^2 + C_i^2 + C_{i-1}C_i] \cdot L$$

2) Volume total sur écorce: $\sum V_{b_i}$

$$V_t = \boxed{}$$

$$3) \% \text{ écorce} : P = \frac{4\pi e}{C_i} \left(1 - \frac{\pi e}{C_i} \right)$$

billons: 1 à 4 : P = 42, 45
 5 à 8 : 21, 18
 9 à 12 : 12, 10
 13 à 16 :
 17 à 20 :

(e_1)
 (e_2)
 (e_3)
 (e_4)
 (e_5)

ATTENTION

|| Pour le dernier billon, à la découpe 7cm
 ne pas oublier d'indiquer sa longueur.

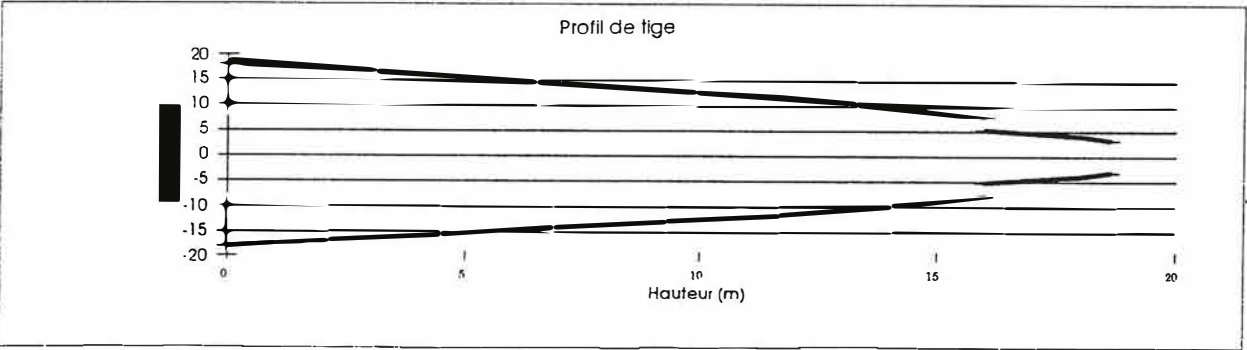
Longueur du dernier billon: 0,30

TARIF DE CUBAGE PINUS CARIBAEA ---- UVEA

Arbre	36	Date des mesures :	11 décembre 1995
Diam 1.30	34.5	cm	
H totale	22.8	m	
H bois fort	18.6	m	
CHbf/2	80	cm	
V sur écor	0.9932	m3	
V. ss écor	0.8181	m3	
Décdia0-4	0.9	cm/m	

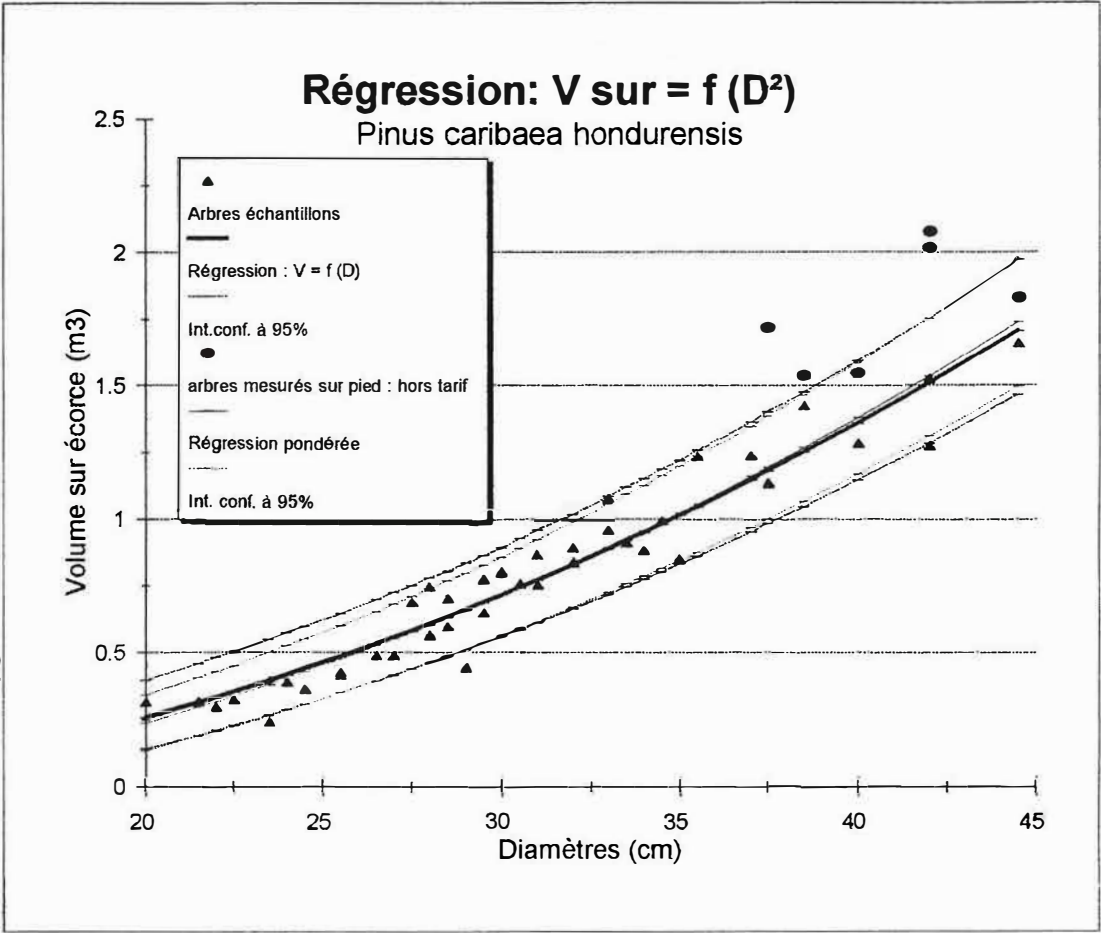
N° Billon	Mesure	C sur écorce	L. billon	H cumulée	Vol. billon
	Base	113	--	0	---
1	2	106	2	2	0.1909
2	4	102	2	4	0.1722
3	6	92	2	6	0.1499
4	8	85	2	8	0.1247
5	10	79	2	10	0.1071
6	12	73	2	12	0.0920
7	14	63	2	14	0.0737
8	16	50	2	16	0.0510
					0.0000
	16	33		16	
9	18	25	2	18	0.0135
10	18.6	20	0.6	18.6	0.0024
					0.0000
	16	33		16	
11	18	25	2	18	0.0135
12	18.6	20	0.6	18.6	0.0024

Ecorce	épa (cm)	e mc	% écor
e1	1.8	1.8	0.19
e2	1.3	1.5	0.17
e3	1.1	1.3	0.17
e4	1	0.9	0.16
e5	1.1	0.9	0.24
e6	0	0	0.00



Billon n°	Type	L	Circ L/2	Vol	% écorce	Vol sous éc	Volume par type		
I	1	3.8	105	0.33339	0.19	0.27		Sur	Sous
II	1	3.8	94	0.267196	0.17	0.222	Type 1	0.93	0.76541
III	1	3.8	82	0.20333	0.17	0.169	Type 2	0.03	0.02204
IV	1	3.6	66	0.12479	0.16	0.105	Type 3	0.02	0.01145
V	3	0.7	52	0.015062	0.24	0.011	Total	0.97	0.7989
VI	2	2.5	27	0.014503	0.24	0.011			
VII	2	2.5	27	0.014503	0.24	0.011			
				0		0			

Formules des tarifs en : V sur = f(D²)



Régression simple

Statistiques ré V sur = f(D²)

R multiple	0.963501
R carré	0.928334
R carré ajusté	0.926628
Erreur-type	0.096567
Observations	44

Analyse de variance

	ddl	SCE	CM	F	F signification
Régression	1	5.073388	5.073388	544.0559	1.2E-25
Résidu	42	0.391655	0.009325		
Total	43	5.465044			

Coefficient Erreur-type Statistiqu Valeur-P 95.00% in 95.00% supérieur

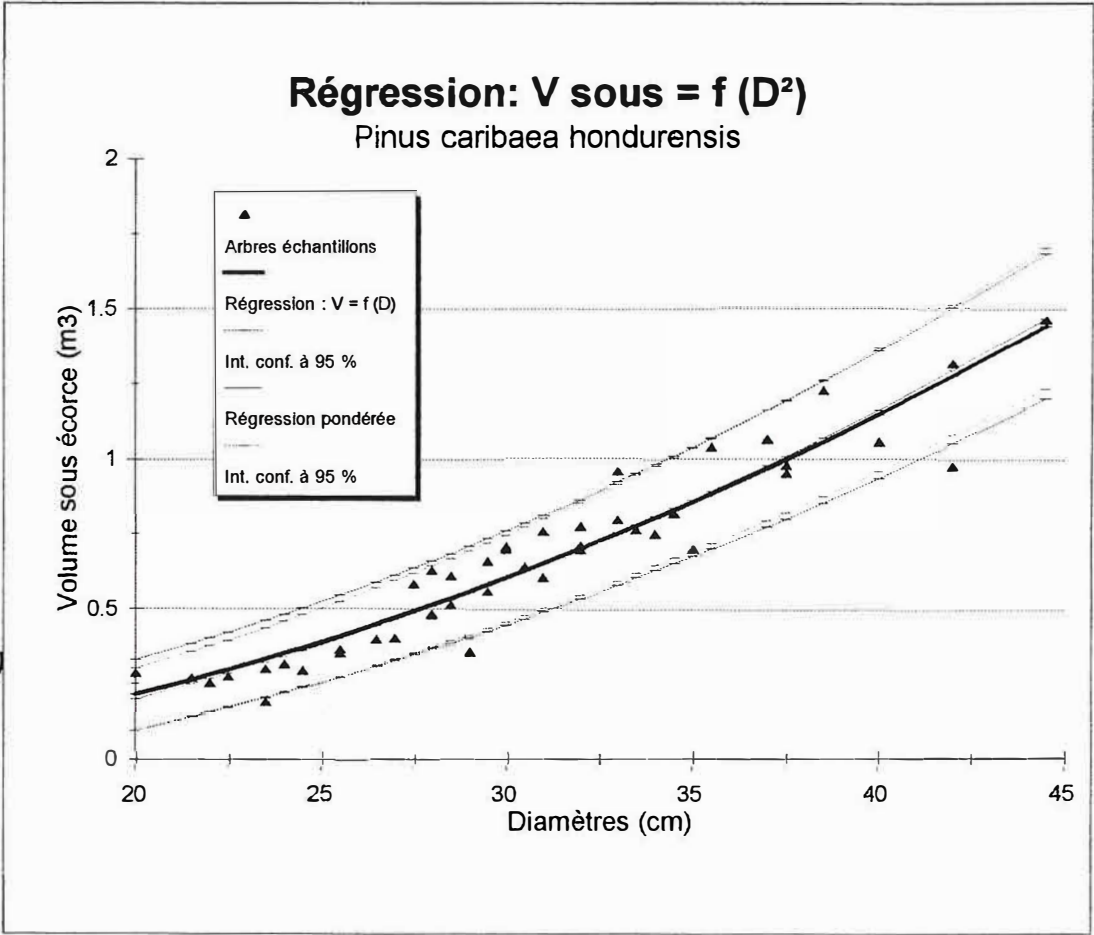
a	-0.11049	0.040937	-2.69899	0.009901	-0.1931	-0.02787
c	0.000917	3.9E-05	23.32501	0	0.000838	0.000997

Régression pondérée en 1/C²

Equation du tarif : V sur = a + c.D² Coefficient Erreur-type Statistiqu Valeur-P 95.00% in 95.00% supérieur

c	0.00095	4.3E-05	21.9198	0	0.000862	0.001037
a	-0.14096	0.034115	-4.13172	0.000163	-0.2098	-0.07211
Variance Tarif pondé	0.009478		r²	0.927163		
SCEx	6029397					
SCEy	5.465044					
Xm	972.892					
t(1 - 0.05/2 ; 42)	2.021					

Formules des tarifs en : V sous = f(D²)



Régression simple

Statistiques r: V sous = f(D²)

R multiple	0.948759
R carré	0.900143
R carré ajusté	0.897765
Erreur-type	0.098018
Observations	44

Analyse de variance

	ddl	Somme de:	Carré mo	F	F	signification
Régression	1	3.6374073	3.637407	378.6005	1.2E-22	
Résidu	42	0.4035154	0.009608			
Total	43	4.0409226				

Coefficient Erreur-type Statistiqu Valeur-P 95.00% in 95.00% supérieur

Intersection	-0.09542	0.0415521	-2.29647	0.026584	-0.17928	-0.01157
x1	0.000777	3.992E-05	19.45766	0	0.000696	0.000857

Régression pondérée en 1/C²

Equation du tarif : V sous = a + c.D² Coefficient Erreur-ty Statistiqu Valeur-P 95.00% in 95.00% supérieur

c	0.000802	4.2E-05	18.89408	0	0.000716	0.000888
a	-0.11929	0.033419	-3.56961	0.000895	-0.18673	-0.05185

Variance Tarif pondéré	0.009699	r²	0.899188
SCEx	6029397		
SCEy	4.040923		
Xm	972.892		
t(1 - 0.05/2 ; 42)	2.021		

Tarif des volumes bucheron sur écorce en fonction des diamètres sur pied**Volume bucheron des billons de sciage****Statistiques régressior $V_{bcsur} = f(D^2)$**

R multiple	0.935838
R carré	0.8757928
R carré ajusté	0.8728355
Erreur-type	0.113985
Observations	44

Analyse de variance

	<i>ddl</i>	<i>SCE</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F signification</i>
Régression	1	3.847686	3.847686	296.1447	1.2E-20
Résidu	42	0.545689	0.012993		
Total	43	4.393374			

	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Valeur-P</i>	<i>95.00% infér</i>	<i>95.00% supérieur</i>
a	-0.149292	0.048321	-3.08959	0.003507	-0.24681	-0.05178
c	0.0007988	4.64E-05	17.20886	0	0.000705	0.000893

Volume bucheron toutes catégories confondues**Statistiques régressior $V_{btotsur} = f(D^2)$**

R multiple	0.9530148
R carré	0.9082372
R carré ajusté	0.9060524
Erreur-type	0.1000701
Observations	44

Analyse de variance

	<i>ddl</i>	<i>SCE</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F signification</i>
Régression	1	4.162853	4.162853	415.702	2.1E-23
Résidu	42	0.420589	0.010014		
Total	43	4.583442			

	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Valeur-P</i>	<i>95.00% infér</i>	<i>95.00% supérieur</i>
a	-0.060443	0.042422	-1.42481	0.161431	-0.14605	0.025168
c	0.0008309	4.08E-05	20.38877	0	0.000749	0.000913

Statistiques régression Vsur / D² = f (1/D²)

R multiple	0.53758
R carré	0.288993
R carré ajusté	0.272064
Erreur-type	0.000103
Observations	44

Analyse de variance

	ddl	Somme d Carré mo		F	signification	
Régression	1	1.8E-07	1.8E-07	17.07113	0.000168	
Résidu	42	4.5E-07	1.1E-08			
Total	43	6.3E-07				

	Coefficier	Erreur-ty	Statistiqu	Valeur-P	95.00% in 95.00% supérieur	
Intersection	0.00095	4.3E-05	21.9198	0	0.000862	0.00103719
x1	-0.14096	0.034115	-4.13172	0.000163	-0.2098	-0.07210777

Tarif sur écorce pondéré en 1/C²

Equation du tarif : V sur = a + c.D² **Coefficier Erreur-ty Statistiqu Valeur-P 95.00% in 95.00% supérieur**

c	0.00095	4.3E-05	21.9198	0	0.000862	0.00103719
a	-0.14096	0.034115	-4.13172	0.000163	-0.2098	-0.07210777

Variance Tarif pondéré	0.009478	r²	0.927163
SCEx	6029397		
SCEy	5.465044		
Xm	972.892		
t(1 - 0.05/2 ; 42)	2.021		
0.975			

Tarif des volumes bucheron sous écorce en fonction des diamètres sur pied**Volume bucheron des billons de sciage****Statistiques régressior Vbscious = f (D²)**

R multiple	0.9222084
R carré	0.8504684
R carré ajusté	0.8469081
Erreur-type	0.1075506
Observations	44

Analyse de variance

	<i>ddl</i>	<i>SCE</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F signification</i>
Régression	1	2.763122	2.763122	238.877	6.2E-19
Résidu	42	0.48582	0.011567		
Total	43	3.248941			

	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Valeur-P</i>	<i>95.00% infér</i>	<i>95.00% supérieur</i>
a	-0.124433	0.045593	-2.72919	0.009162	-0.21644	-0.03242
c	0.000677	4.38E-05	15.45565	0	0.000589	0.000765

Volume bucheron toutes catégories confondues**Statistiques régressior Vbtotsous = f (D²)**

R multiple	0.9398312
R carré	0.8832826
R carré ajusté	0.8805036
Erreur-type	0.0966699
Observations	44

Analyse de variance

	<i>ddl</i>	<i>SCE</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F signification</i>
Régression	1	2.970271	2.970271	317.8435	3.3E-21
Résidu	42	0.392493	0.009345		
Total	43	3.362764			

	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Valeur-P</i>	<i>95.00% infér</i>	<i>95.00% supérieur</i>
a	-0.043471	0.040981	-1.06077	0.294717	-0.12617	0.039231
c	0.0007019	3.94E-05	17.82817	0	0.000622	0.000781

Statistiques régression Vsous / D² = f (1/D²)

R multiple	0.482459
R carré	0.232767
R carré ajusté	0.214499
Erreur-type	0.000101
Observations	44

Analyse de variance

	ddl	Somme d	Carré mo	F	F signification
Régression	1	1.3E-07	1.3E-07	12.74215	0.000911
Résidu	42	4.3E-07	1E-08		
Total	43	5.6E-07			

	Coefficient	Erreur-type	Statistique	Valeur-P	95.00% in	95.00% supérieur
Intersection	0.000802	4.2E-05	18.89408	0	0.000716	0.000888
x1	-0.11929	0.033419	-3.56961	0.000895	-0.18673	-0.05185

Tarif sous écorce pondéré en 1/C²

Equation du tarif : V sous = a + c.D **Coefficient Erreur-type Statistique Valeur-P 95.00% in 95.00% supérieur**

c	0.000802	4.2E-05	18.89408	0	0.000716	0.000888
a	-0.11929	0.033419	-3.56961	0.000895	-0.18673	-0.05185
Variance Tarif pondéré	0.009699		r²		0.899188	
SCEx	6029397					
SCEy	4.040923					
Xm	972.892					
t(1 - 0.05/2 ; 42)	2.021					
0.975						

Tarif pondéré en 1/D² des volumes bucheron sous écorce en fonction des diamètres sur pied

Statistiques de la régression : $V_{bsciscous} / D^2 = a / D^2 + c$

R multiple	0.5506771
R carré	0.3032453
R carré ajusté	0.2866559
Erreur-type	0.000112
Observations	44

Analyse de variance

	ddl	SCE	CM	F	F signification
Régression	1	2.29E-07	2.294E-07	18.2795	0.000107
Résidu	42	5.27E-07	1.255E-08		
Total	43	7.56E-07			

	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Valeur-P	95.00% infér	95.00% supérieur
c	0.0007127	4.69E-05	15.185051	0	0.000618	0.000807
a	-0.158003	0.036956	-4.2754488	0.0001	-0.23258	-0.08342

Tarif pondéré en 1/D² du volume bucheron sous écorce des grume de sciage

Equation du tarif : $V_{bsci\ sous} = a + c.D^2$

	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Valeur-P	95.00% infér	95.00% supérieur
c	0.0007127	4.69E-05	15.185051	0	0.000618	0.000807
a	-0.158003	0.036956	-4.2754488	0.0001	-0.23258	-0.08342

	ddl	SCE	CM
Résidu	42	0.493597	0.0117523

Variance Tarif pondéré 0.0117523

SCEx	6029397
SCEy	3.248941
Xm	972.89205

r^2	0.848075
-------	----------

**Intervalle de confiance d'une valeur
estimée à l'aide d'une droite de régression**

Dagnelie 1984

L'intérêt de la théorie de la régression est de pouvoir permettre une estimation des valeurs de la variable dépendante Y (dans notre cas le volume) qui correspondent à certaines valeurs de la variable indépendante X (dans notre cas le diamètre au carré). L'hypothèse de départ de cette estimation est l'homogénéité de la variance sur l'ensemble du domaine de validité. Il faut donc uniquement utiliser les équations pondérées qui, comme nous l'avons déjà vu, satisfont cette hypothèse.

Cette estimation se fait aisément dans le cas d'une valeur unique de la variable indépendante (p.ex. : D = 35 ; tous les arbres appartiennent à la même classe de diamètre et sont affectés de la valeur médiane de la classe. On considère qu'il ont tous le volume de l'arbre médian de la classe), cas habituel des calculs à partir de régressions.

Dans la réalité de l'application à un tarif ce n'est pas le cas. Les arbres sont dispersés sur une certaine fourchette de diamètres. Nous allons devoir procéder de manière non rigoureuse mais cela donnera un ordre de grandeur tout à fait acceptable si on cube un groupe homogène de même structure que l'échantillon. Dans un cas différent, il vaut mieux diviser les arbres à cuber en classes de diamètre et appliquer la méthode suivante à chaque classe avant de sommer les volumes de toutes les classes.

Si on a déterminé notre tarif à partir d'un échantillon donné où :

- n nombre d'arbre;
- x_i variable indépendante de l'arbre i (D_i^2);
- y_i volume de l'arbre i;

et l'on cherche à déterminer l'intervalle de confiance du volume d'un groupe d'arbres à cuber appartenant à une même classe de diamètre, l'estimation du volume d'un groupe de N arbres à cuber est la suivante :

d'abord, on calcule le diamètre au carré moyen des N arbres à cuber : X_0

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^N (D_i^2)}{N}$$

puis on détermine le volume de l'arbre moyen et son intervalle de confiance :

$$Y = Y_0 \pm t_{1-\alpha/2} \sqrt{\hat{\sigma}_{YX}^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{1}{N} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{SCE_x} \right]}$$

avec Y_0 valeur estimée à l'aide du tarif du volume considéré, de l'arbre de diamètre carré moyen (x_0)

$t_{1-\alpha/2}$ t de Student au risque $\alpha/2$. Nous prendrons systématiquement $\alpha=0,05$

$\hat{\sigma}_{YX}^2$ estimation de la variance résiduelle (échantillon du tarif)

$SCE_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ où x_0 est la moyenne des variables indépendantes au carré : D^2 ; des arbres à cuber.
 \bar{x} est la moyenne des variables indépendantes des arbres de l'échantillon du tarif.

on multiplie alors la valeur de l'arbre de diamètre quadratique moyen par le nombre d'arbre à cuber pour obtenir le volume global et son intervalle de confiance qui reste relativement le même que celui de l'arbre de diamètre quadratique moyen.

$$V = N \times Y$$

En appliquant ces formules aux équations de notre tarif:

Echantillon : nombre d'arbre : 44 d'où le ddl : 42 et $t_{1-\alpha/2} = t_{(1-0.05/2;42)} = 2.021$

pour les tarif à une entrée : la variable indépendante x est D²

$$\begin{aligned}\bar{x} &= 972,89 \\ \text{SCE}_x &= 6029397\end{aligned}$$

d'où les formules des limites de confiances pour les équations :

Equation 3

Volume sur écorce : $\sigma^2_{Y,x} = 0,009478$

$$Y = Y_o \pm 2.021 \sqrt{0,009478 \left[\frac{1}{N} + \frac{1}{44} + \frac{(x_o - 972,89)^2}{6029397} \right]}$$

Equation 4

Volume sous écorce: $\sigma^2_{Y,x} = 0,009699$

$$Y = Y_o \pm 2,021 \sqrt{0,009699 \left[\frac{1}{N} + \frac{1}{44} + \frac{(x_o - 972,89)^2}{6029397} \right]}$$

RAPPORT DE MISSION A UVEA

1- **Date** : du 9 décembre 1995 au 19 Décembre 1995.

2- **Objet de la mission** :

Réaliser la sélection des arbres échantillons destinés aux études technologiques.
Mise en place du protocole de mesure et de description des arbres destinés aux études dendrométriques et aux études quantitatives et qualitatives des billons et des avivés.

3- **Personnes rencontrées** :

- Monsieur Bernard GUEGAN : chef du Service de l'Economie Rural et de la Pêche de WALLIS et FUTUNA (S.E.R.P.).
- Monsieur Atoloto MALAU : ingénieur en charge des équipes de travaux du S.E.R.P..
- Monsieur Loïc CHEOUX-DAMAS: ingénieur responsable de la formation
- Monsieur Paulo TAUFIFENUA : FAIPULE (chef) du district de HIHIFO sur lequel se trouve les plantations de WALLIS
- les personnels de la section forêt et de l'équipe de travaux du S.E.R.P..

4- **Calendrier** :

Samedi 9/12/95 : avec Monsieur Atoloto MALAU, visite des parcelles et sélection du peuplement échantillon qui servira aux mesures et aux prélèvements.

Lundi 11/12 :

- rencontre avec Monsieur M.GUEGAN, chef du S.E.R.P. pour la mise au point de la mission.
- rencontre avec le FAIPULE HIHIFO, Monsieur Paulo TAUFIFENUA pour lui présenter le projet et obtenir son accord de principe sur les réalisations de l'opération.
- débroussage de la zone d'emprise
- choix (parmi ces derniers) et description des arbres échantillons pour les mesures technologiques.
- début des mesures dendrométriques et du cubage "bûcheron".

Mardi 12/12/95 :

- mesures dendrométriques et cubage
- abattage et débardage des arbres

Mercredi 13/12/95 :

- mesures dendrométriques et cubage
- abattage et débardage des arbres
- début du sciage des arbres échantillon
- formation au classement des avivés

Jeudi 14/12/95 :

- fin des mesures dendrométriques
- abattage et débardage
- sciage des billons / classement des avivés

Vendredi 15/12/95 :

- fin du débardage
- sciage des billons et classement des avivés
- conditionnement et expédition des planches échantillon

Lundi 18/12/95 :

- réunion de service au S.E.R.P.. Bilan de l'opération
- visite des plantations de pin

Mardi 19/12/95 :

- dernières recommandations pour la suite des opérations et protocoles du suivi du séchage
- départ pour Nouméa

5- Programme des travaux

5.1 Choix de l'échantillon

Le S.E.R.P. avait choisi une parcelle de 1975 sur des critères que nous lui avons fournis et y avait marqué une éclaircie systématique.

Peu avant le début de la mission, le S.E.R.P. a été obligé de marquer une coupe d'emprise pour une ligne électrique le long de la route. Il lui a semblé judicieux, pour limiter les réticences des autorités coutumières, de réaliser la coupe dans cette emprise.

Après visite de la zone et compte tenu du fait que cette emprise est l'élargissement d'une première emprise réalisée 3 mois auparavant nous estimons que l'effet de lisière n'a pas joué sur les arbres de cette emprise.

Nous avons choisi cette solution :

- pour faciliter l'impact de l'opération auprès des coutumiers
- une coupe systématiques sur 20 m de large est bien plus aisée à réaliser qu'une éclaircie systématique 1 ligne sur 3 et en raison de la brièveté de la mission ce facteur était important.
- le critère d'échantillon représentatif du peuplement est respecté par une coupe systématique et par le fait que l'emprise n'était pas en lisière du peuplement jusqu'il y trois mois lors de la coupe d'une première emprise de quatre lignes de large à partir de la lisière du peuplement.
- les caractères du peuplement exploité sont légèrement différentes de celle de la première parcelle choisie en raison d'une fertilité un peu inférieure (2 à 3 m de moins sur la hauteur dominante) et d'un âge inférieur.

Pour l'établissement d'un tarif du cubage, cette zone nous semble plus représentative du peuplement moyen que la parcelle initialement sélectionnée qui était parmi les plus fertiles de la plantation.

5.2 Mesures sur les arbres de l'emprise

Les arbres ont été numérotés de 1 à 45, systématiquement mais en éliminant les arbres déformés (4 arbres écartés sur la zone).

Nous en avons relevé les diamètres à 1,30 m.

Après l'abattage, tous les arbres ont été cubés en volume total par la méthode des billons de longueur fixe de 2 m. Tous les 2 m la circonférence a été relevée et le volume des billons est déterminée par la formule du tronc de cône (voir en annexe la fiche de mesure).

Nous avons choisi le volume bois fort (circonférence sur écorce > 20 cm)

Des mesures systématiques d'épaisseurs d'écorce tous les 4 mètres à l'aide de 2 relevés perpendiculaires réalisés avec une jauge à écorce, permettent d'estimer le volume sous écorce de manière fiable à partir du volume sur écorce. Ces résultats nous permettront d'établir des tarifs de cubage sur écorce et sous écorce pour les pins des plantations de WALLIS âgées de 15 à 22 ans.

Après cette première mesure l'arbre est billonné selon ses caractères de forme et les caractéristiques imposées par la scie utilisée (scie ERVE) soit une longueur maximale de 3,80 m. Les zones courbées ou abîmées ont été purgées mais cubées.

Chaque billon a été:

- cubé selon la méthode du bûcheron (longueur x diamètre médian). *Le volume sous écorce sera déterminé à l'aide des épaisseurs d'écorces relevées pour le cubage du tarif*
- classé en 3 types : sciage, purge, poteau
- numéroté pour un cubage et un classement des avivés après sciage.

Cette opération nous permettra un récolement entre le volume brut bois fort relevé et le volume bûcheron utilisable des arbres.

- Remarques :**
- 1/ Le temps nécessaire à ces mesures ne nous a pas permis un échantillon plus large et l'écorçage des billons pour les mesures sous écorce des billons.
 - 2/ Afin de compléter notre échantillon dans la partie haute (diamètre > 40 cm) nous avons réalisé des mesures d'arbres sur pieds à l'aide du relascope de Bitterlich pour les 6 plus gros arbres de la parcelle initialement choisie mais non exploitée.

5.3 Description des arbres échantillons

Parmi les 45 arbres numérotés nous avons choisi et décrit 6 arbres en les prenant parmi des diamètres variables tous en évitant les extrêmes :

- les plus petits qui ne sont pas représentatif des arbres de 2ème éclaircie ou de coupe finale d'un peuplement bien géré (les plantations n'ont subi aucune intervention sylvicole à l'exception des coupes sauvages)
- les plus gros, car nous n'avons aucun moyen de sciage pour les billons de plus de 35 cm de diamètre gros bout.

Les arbres sur lesquels les échantillons ont été prélevés ont été décrits et photographiés (voir fiche de description et photographies en annexe).

5.4 Prélèvement des planches échantillons

Selon le protocole fourni par Technologie des bois, les planches ont été prélevées dans le billon de pied de l'arbre, la hauteur de prélèvement dans ce billon est variable en fonction de la position du coeur dans la planche, ce dernier devant obligatoirement s'y trouver. La hauteur de prélèvement ainsi que le numéro de l'arbre échantillon ont été notés sur la planche. (voir photographies jointes)

Selon le protocole cette planche échantillon de 1 mètre de long devait avoir 5 cm d'épaisseur et comprendre toute la largeur du billon. En fait, en raison du principe de sciage de la scie E.R.V.E., deux faces perpendiculaires doivent être sciées avant de pouvoir débiter des plots. Les planches présentent donc systématiquement une rive délimitée et une dosse.

Deux d'entre elles présentent 2 rives délimitées. Pour l'une (Echantillon 39), le billon était trop gros pour permettre un sciage en plot: il a donc d'abord fallu débiter quatre dosses (dont la première à la scie à chaîne) avant de pouvoir débiter les planches. Nous avons joint une rondelle tirée de la base de cet arbre (n° 39) dans laquelle des éprouvettes pourrions être prélevées si nécessaire. Pour l'autre (Echantillon 24) la scieur n'a pas été assez attentif et aucune partie de coeur ne se trouvait dans la planche dont on avait conservé une rive non délimitée. Il a donc fallu prendre un échantillon dans la planche qui présentait un peu de moelle mais qui était déjà délimitée. Pour cette raison nous avons fourni en même temps une planche, plus courte, tirée de la planche échantillon initiale, non délimitée sur une rive.

Nous avons joint également 2 autres rondelles d'arbres codominants pour analyse éventuelle de cernes.

Remarque: L'échantillon 8 présente une coloration plus sombre sur toute sa circonférence correspondant à un cerne particulier. Cette particularité pourrait provenir d'un feu qui aurait affecté cet arbre. Cette parcelle a été plusieurs fois sujette à des feux.

5.5 Conditionnement

Après sciage les avivés ont été photographiés ainsi que les planches échantillons de 1 m qu'y ont été prélevées. Les planches ont été badigeonnées au Diffusol (produit Kopper & Hickson: une fiche technique du produit est donnée en annexe) à haute concentration (10 % ; principe de la diffusion par trempage court à haute concentration) et immédiatement mises

dans des sachets plastique étanches pour empêcher toute évaporation. Elles ont été conditionnées en 3 paquets distincts.

6. Sélection des avivés du commerce

6.1. Choix du négociant

3 importateurs ont été visités. L'un n'importait que des Douglas (très bien conditionné et de belle qualité). Les 2 autres importent du *Pinus radiata* de Nouvelle Zélande. Pour l'un le bois est non traité et son empilage est mauvais. Les planches sont souvent pourries et de qualité coffrage uniquement (choix 3A à 3B : CTBA. Voir les deux photos jointes: *négociant 1*).

Le second avait du *Pinus radiata* traité aux sels de CCA de bonne qualité. Nous avons donc porté notre choix sur ce dernier.

Dans la pile des avivés de 50 x 150 x 6 m de qualité très homogène (voir deux photos *négociant 2*), nous avons tirés 6 planches présentant le coeur de l'arbre sur tout ou partie de l'avivé.

Ces planches ont été photographiées (voir les 6 photos montrant les deux faces de ces planches) et un échantillon de 1 m prélevé en un endroit où le coeur était inclus dans l'avivé (une photo comprenant les 6 échantillons).

Leur classement selon la norme des pins du CTBA est identique à la totalité de la pile soit le choix 3A. (charpente traditionnelle).

Les 6 échantillons ont été réunis dans un même colis, emballé dans un sac plastique étanche.

L'ensemble des 4 colis plus un colis comprenant les 3 rondelles a été envoyé par fret aérien à Montpellier pour analyses technologiques.

7. Sciage et classement des avivés

Les billons ont été numérotés et lors du sciage tous les avivés obtenus sont classés en 3 choix.

- | | |
|------------|--|
| choix n° 1 | correspondants aux choix OA, OB et 1 du CTBA |
| choix n° 2 | correspondants aux choix 2 du CTBA |
| choix n° 3 | correspondants aux choix 3 A et B du CTBA |

Pour chaque billon nous connaissons le nombre, le classement et le cubage des avivés obtenus.

Les avivés sont classés en 3 lots séparés	choix 1
	choix 2
	choix 3

En raison des gros problèmes rencontrés par le sciage à la scie ERVE qui se trouve à Wallis (sciage peu précis, lenteur excessive de sciage en raison du moteur trop faible, structure trop peu rigide qui provoque des déformations et des frottements de la lame avec tous les problèmes qui s'en suivent...) et par le dynamisme assez faible de l'équipe de sciage lorsqu'elle n'est pas suivie en permanence par l'ingénieur du service qui a d'autres choses à faire, le sciage des autres billons est très très lent et la quasi totalité des sciages produits ont été atteints par le bleu. Avec ces problèmes, il n'est pas évident que le cubage des avivés apporte des éléments très fiables.

8. Séchage

Un suivi du séchage est effectué par pesage de 30 planches (10 par lot) tirées des piles en excluant les bords de celle-ci.

Une fois le poids stabilisé (séchage en équilibre avec l'hygrométrie ambiante) 10 planches seront tirées dans chacun des lots et photographiées.

Une estimation des défauts de séchage (fentes, déformations) sera effectuée à la fin de ce dernier.